



TUGAS AKHIR – TL141584

**STUDI VARIASI KOMPOSISI PENAMBAHAN
REDUKTOR ARANG PADA PASIR BESI TERHADAP
KANDUNGAN Fe TOTAL DAN Fe METAL DALAM
PROSES PEMBUATAN *SPONGE IRON***

**Annisa Riyanti
NRP 2713 100 115**

**Dosen Pembimbing:
Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**



TUGAS AKHIR – TL141584

**STUDI VARIASI KOMPOSISI PENAMBAHAN
REDUKTOR ARANG PADA PASIR BESI
TERHADAP KANDUNGAN Fe TOTAL DAN Fe
METAL DALAM PROSES PEMBUATAN *SPONGE
IRON***

**Annisa Riyanti
NRP 2713 100 115**

**Dosen Pembimbing:
Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL141584

**STUDY OF VARIATION OF COMPOSITION IN
ADDITIONAL OF CHARCOAL REDUCTANT ON
IRON SAND TO THE CONTENT OF TOTAL Fe AND
METALLIC Fe IN PRODUCTION OF SPONGE IRON**

**Annisa Riyanti
NRP 2713 100 115**

**Advisor :
Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.**

**Departement of Materials And Metallurgical
Engineering
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI VARIASI KOMPOSISI PENAMBAHAN
REDUKTOR ARANG PADA PASIR BESI
TERHADAP KANDUNGAN FE TOTAL DAN FE
METAL DALAM PROSES PEMBUATAN *SPONGE*
*IRON***

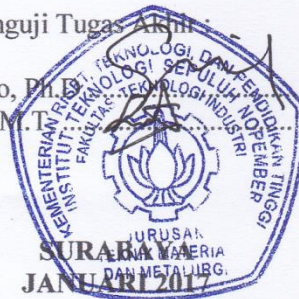
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ANNISA RIYANTI
NRP. 2713 100 068

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

Sungging Pintowantoro, Ph.D. (Pembimbing I)
Fakhreza Abdul, S.T., M.T. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDI VARIASI KOMPOSISI PENAMBAHAN
REDUKTOR ARANG PADA PASIR BESI TERHADAP
KANDUNGAN FE TOTAL DAN FE METAL DALAM
PROSES PEMBUATAN *SPONGE IRON***

Nama : Annisa Riyanti
NRP : 2713100115
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi
Pembimbing : Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.

ABSTRAK

Bahan baku pembuatan baja berasal dari pasir besi yang telah direduksi dan diproses dalam *furnace*. Sumber daya pasir besi yang melimpah di Indonesia merupakan suatu peluang besar untuk bangsa Indonesia mengolah sendiri bahan baku tersebut untuk menjadi konsentrat Fe, yaitu *sponge iron*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi penambahan arang pada pasir besi terhadap derajat Fe total dan Fe metal dalam pembuatan *sponge iron*. Terdapat tiga sampel variasi komposisi pasir besi : arang : batu kapur, yaitu komposisi awal 1:0.35:0.3, komposisi kedua dengan penambahan arang 10% 1:0.39:0.3, komposisi ketiga dengan penambahan arang 20% 1:0.42:0.3. Sampel kemudian direduksi menggunakan *muffle furnace* dengan proses *pre-heat* pada 900°C selama 2 jam dan proses reduksi pada 1350°C selama 10 jam, dan proses pendinginan dalam *furnace* selama 12 jam. Hasil proses reduksi disebut dengan *sponge iron*. Sampel *sponge iron* kemudian diuji menggunakan alat EDX, XRD, dan pengujian derajat metalisasi untuk mengetahui Fe total dan Fe metal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa hasil reduksi paling baik terjadi pada komposisi dengan penambahan arang 20% dengan perbandingan pasir besi : arang : batu kapur 1:0.42:0.3.

Kata kunci : arang, pasir besi, proses reduksi, *sponge iron*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**STUDY OF VARIATION OF COMPOSITION IN
ADDITIONAL OF CHARCOAL REDUCTANT ON IRON
SAND TO THE CONTENT OF TOTAL Fe AND
METALLIC Fe IN PRODUCTION OF SPONGE IRON**

Name : Annisa Riyanti
NRP : 2713100115
Major : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Sungging Pintowantoro, ST., MT., Ph.D
Fakhreza Abdul, ST., MT.

ABSTRACT

The raw materials of producing steels are come from iron sand reduced and proceed in the furnace. The plentiful resources of sand iron in Indonesia is a great chance for us to produce as Fe consentrat, called sponge iron. The purpose of this research are to understand the influence of composition variation of charcoal reductant on iron sand to the content of total Fe and metallic Fe in production of sponge iron. There three samples composition variation of iron sand : charcoal : limestone, are initial composition 1:0.35:0.3, second composition with 10% addition of charcoal 1:0.39:0.3. and third composition with 20% addition of charcoal 1:0.42:0.3. The samples are reduced by using muffle furnace with the process of pre-heat at 900°C for 2 hours and reduction process at 1350°C for 10 hours, and cooling process in the furnace for 12 hours. The product of the reduction process called sponge iron. The samples of sponge iron are characterized by using EDX, XRD, and metallization degree examination to determine the total Fe and metallic Fe that formed. From the characterization, the best product of the reduction process occur in composition of 20% addition of charcoal with ratio of iron sand : charcoal : limestone is 1:0.42:0.3

Keywords : charcoal, iron sand, reduction process, *sponge iron*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb. Pertama-tama saya mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah yang telah memberikan nikmat dan rahmat-Nya sehingga saya bisa menyusun laporan tugas akhir saya. Kemudian tak lupa juga shalawat serta salam saya haturkan kepada nabi besar Muhammad saw yang telah membawa kita dari zaman yang bodoh kepada zaman yang terang seperti sekarang. Tugas akhir ini ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS. Pada kesempatan ini saya telah menyelesaikan tugas akhir saya yang berjudul **“STUDI VARIASI KOMPOSISI PENAMBAHAN REDUKTOR ARANG PADA PASIR BESI TERHADAP KANDUNGAN FE TOTAL DAN FE METAL DALAM PROSES PEMBUATAN SPONGE IRON”**. Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya, Agus Trianto Elliezer dan Farida Kustiariini, juga adik saya Ananda Savra Rianti yang telah mendukung untuk menyelesaikan kuliah dan tugas akhir.
2. Seluruh keluarga S. Susanto, khususnya Kakek saya Alm. Susanto, yang telah mendukung saya untuk melanjutkan pendidikan selama ini
3. Seluruh dosen-dosen Teknik Material dan Metalurgi atas ilmu yang telah diberikan selama saya berkuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
4. Bapak Sungging Pintowantor, Ph.D dan Bapak Fakhreza Abdul, ST., MT. selaku pembimbing tugas akhir.
5. Seluruh karyawan yang bekerja di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
6. Isna Akmalia, Febianza Mawaddah Putri, dan Nadia Khairarizki yang telah menjadi sahabat terbaik sejak bangku menengah atas.

7. Sabrina Galih Pratiwi, sahabat dunia akhirat, semoga kita dipertemukan nanti di surga.
8. Donny Pratomo, Andika Pratama dan M. Rifqi Mahendra Putra yang telah menyemangati saya untuk menyelesaikan semua ini.
9. Keluarga MT 15 dan teman-teman 2013 yang telah berjuang bersama-sama hingga akhir.
10. Keluarga Keputih Galaxy 2013 yang juga telah dan masih berjuang bersama-sama.
11. Teman-teman Laboratorium Pengolahan Material yang telah membantu, khususnya Wasik yang sudah sangat membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Mas dan Mbak yang telah dan masih menyelesaikan perkuliahannya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
13. Dan semua pihak yang telah membantu saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Saya menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saya mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan kedepannya. Saya juga berharap laporan tugas akhir yang saya kerjakan dapat bermanfaat dan dapat dimanfaatkan sebaik mungkin.

Surabaya, Januari 2017
Penulis,

Annisa Riyanti

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses <i>Direct reduction</i> (DR) Menggunakan Reduktan Padatan	7
2.2 <i>Iron ore</i> untuk Produksi <i>Sponge iron</i>	7
2.3 Pasir Besi	8
2.4 Batubara	9
2.5 Batu Kapur	10
2.6 Arang	11
2.7 <i>Sponge iron</i>	13
2.8 <i>TunnelKiln</i> dan Deskripsi Proses.....	15
2.9 Mekanisme Reduksi Fe	18
2.10 Kinetika pada Proses <i>Direct reduction</i>	19
2.11 Pengujian pada Hasil Proses Reduksi.....	23
2.12 Penelitian Sebelumnya	23

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir.....	28
3.2 Bahan Penelitian.....	30
3.3 Peralatan Penelitian	32

3.4 Pelaksanaan Penelitian	35
3.5 Pengujian	36
BAB IV	
ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian.....	40
4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Penambahan Reduktor Arang terhadap Derajat Fe Total	45
4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Penambahan Reduktor Arang terhadap Derajat Fe Metal	50
BAB V	
KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	54
5.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur <i>Mikro Sponge iron</i> Bagian Luar	14
Gambar 2.2 Struktur Mikro <i>Sponge iron</i> Bagian Dalam.....	15
Gambar 2.3 Skema dari <i>Tunnel Kiln</i>	17
Gambar 2.4 Aliran Masuk dan Keluar dari <i>Tunnel Kiln</i>	18
Gambar 2.5 Diagram Keseimbangan Gas CO dan CO ₂ untuk Reduksi Bijih Besi (Ross, 1980).	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Pasir Besi dari Sukabumi.....	30
Gambar 3.3 Batubara.....	30
Gambar 3.4 Batu kapur.....	31
Gambar 3.5 Tepung Kanji sebagai binder.....	31
Gambar 3.6 <i>Liquefied Petroleum Gas</i> (LPG).....	32
Gambar 3.7 <i>Sagger</i>	32
Gambar 3.8 Alat Kompaksi.....	33
Gambar 3.9 <i>Muffle Furnace</i>	33
Gambar 3.10 Timbangan Digital.....	34
Gambar 3.11 <i>Thermocouple</i>	34
Gambar 3.12 <i>Blower</i>	35
Gambar 4.1 Identifikasi Senyawa Pengujian XRD Pasir Besi	41
Gambar 4.2 Identifikasi Senyawa Pengujian XRD Batu kapur...	44
Gambar 4.3 Perbandingan Kadar Fe pada Sampel <i>Sponge iron</i> Hasil Reduksi Menggunakan Reduktor Arang	46
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian XRD <i>Sponge Iron</i> pada Sampel	47
Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Derajat Metalisasi.....	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Bijih Besi Ideal	8
Tabel 2.2 Sifat Batubara dalam Pembuatan <i>Sponge iron</i>	9
Tabel 2.3 Perbandingan Karakteristik Arang dengan Kokas	12
Tabel 2.4 Perbandingan energi aktivasi batubara dan arang pada proses reduksi iron ore	13
Tabel 4.1 Hasil Uji EDX pada Sampel Pasir Besi.....	40
Tabel 4.2 Hasil Pengujian <i>Proximate Analysis</i> dari Arang Batok Kelapa.....	42
Tabel 4.3 Hasil Pengujian EDX pada Batu kapur	43
Tabel 4.4 Variasi Komposisi Arang terhadap Pasir Besi dan Batu kapur.....	45
Tabel 4.5 Hasil Pengujian EDX pada <i>Sponge iron</i> dengan Reduktor Arang	46
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Derajat Metalisasi dari <i>Sponge iron</i> dengan Reduktor Arang.....	51

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri baja merupakan industri strategis. Sektor ini memainkan peran utama dalam memasok bahan baku untuk pembangunan di berbagai bidang, mulai dari penyediaan infrastruktur, alat transportasi, manufaktur, hingga pertahanan dan persenjataan negara. Bahan baku pembuatan baja berasal dari pasir besi dan atau bijih besi yang telah direduksi dan diproses dalam *furnace*.

Di lain sisi, kualitas bahan baku bijih besi di Indonesia masih menjadi kendala dalam program pengembangan industri baja nasional berbasis bahan baku lokal. Kualitas bijih besi Indonesia masih belum dapat memenuhi kriteria kualitas yang dibutuhkan industri baja pengguna bahan baku ini. Kualitas bijih besi di Indonesia relatif mempunyai kandungan Fe tidak terlalu tinggi, meskipun di beberapa tempat ada yang kandungannya di atas 70%Fe, namun sebaran yang berupa spot-spot dengan kuantitas kecil. Rata-rata kandungan Fe dalam pasir besi yaitu 47.08%Fe (Dudi Nasrudin Usman, 2010).

Di Indonesia sebenarnya mempunyai potensi yang sangat besar untuk mengolah dari *ore* hingga menjadi Fe jika dilihat secara sumber daya alam yang cukup melimpah. Tetapi sampai saat ini, kebutuhan bijih besi nasional masih diimpor dari luar negeri, seperti Brazil, Peru, dan Kanada. Jika dilihat di Indonesia, bijih besi yang merupakan *ore* dari Fe hampir terdapat di Indonesia dalam jumlah yang cukup besar, seperti di Kalimantan, Sulawesi, Papua, Jawa dan Sumatera (Bambang Pardiarto, 2009). Dengan sumber daya pasir besi yang melimpah di Indonesia, yaitu sebanyak 2.121 juta ton, merupakan suatu peluang besar untuk bangsa Indonesia mengolah sendiri bahan baku tersebut untuk menjadi konsentrat Fe, yaitu *sponge iron*. Proyeksi produksi *sponge iron* di Indonesia pada tahun 2016 diperkirakan sebesar 3.296 ribu ton (Kementrian Perindustrian RI, 2014).



Sponge iron merupakan sumber utama dalam pembuatan besi dan baja selama berabad-abad, bahkan sebelum teknologi *blast furnace* dikembangkan. Pada saat ini, *sponge iron* lebih ditujukan sebagai *direct reduction iron* (DRI). Produk DRI kemudian dilebur dengan *electric arc furnace* dalam pembuatan baja, atau sebagian kecil digunakan dalam pembuatan besi menggunakan *blast furnace*. *Sponge iron* diproduksi dengan *shaft furnace* yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar sekaligus reduktan (J. Feinman, 1999). Salah satu teknologinya adalah *The Stelco-Lurgi/Republic Steel National Lead* (SL/RN). Pada proses tradisional SL/RN, bijih besi, batubara dan batu kapur dimasukkan ke dalam *rotary kiln* dan dipanaskan menggunakan aliran gas yang berlawanan arah, kemudian menghasilkan hasil pembakaran berupa gas, salah satunya adalah gas karbon monoksida (CO) (Soesaptri Oediyani, 2016). Teknologi lainnya adalah penggunaan *tunnel kiln*. Pada tahun 1908, *tunnel kiln* mulai digunakan untuk reduksi oksida besi. Proses ini ditemukan oleh Sieurin sebagai proses Hogoganas. Pada proses ini, material dimasukkan ke dalam troli yang melewati daerah dengan temperatur yang berbeda tanpa adanya perpindahan fisik pada material *bed*. Berbeda dengan *rotary kiln*, pemanasan terjadi di luar dan memungkinkan penggunaan sumber karbon yang berbeda sebagai pemanas dan pereduksi. Dikarenakan prosesnya menggunakan gas, ini juga ramah lingkungan (S. C. Khattoi, 2013).

Penggunaan bahan bakar fosil, seperti batubara dan kokas, telah menyebabkan peningkatan *Greenhouse gas* di atmosfer dari 280 ppm menjadi 390 ppm akibat gas CO yang dihasilkan dari pembakaran, dan ini berdampak serius terhadap pemanasan global. Selain itu, batubara mengandung sulfur, apabila dibakar akan menghasilkan gas SO₂ yang juga berbahaya untuk kesehatan apabila dihirup dan dapat memicu hujan asam apabila kandungannya terlalu banyak di udara. Batubara juga merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, yang akan habis apabila digunakan secara terus-menerus. Jumlah sumber daya pada tahun



2016 sebesar 65.4 miliar ton dan cadangan sebesar 12 miliar ton (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2016). Dengan demikian, diperlukan sebuah material yang dapat mengganti peran batubara sebagai reduktan dalam proses pereduksian pasir besi menjadi *sponge iron*.

Sebagai agen pereduksi, batubara dan kokas memiliki nilai *fixed carbon* sekitar 80-85%C. Jenis bahan yang mempunyai karakteristik menyerupai batubara dan kokas yang bisa digunakan untuk mereduksi pasir besi menjadi *sponge iron* adalah arang. Arang memiliki jumlah *fixedcarbon* sebesar 70-85%C. Keunggulan arang jika dibandingkan dengan kokas adalah arang memiliki kandungan air yang lebih rendah, nilai kalori yang dihasilkan lebih besar, dan kandungan sulfur dan fosfor yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kokas.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian khusus terkait dengan pereduksian pasir besi menggunakan reduktor arang untuk mengetahui derajat Fe total dan Fe metal dalam pembuatan *sponge iron*, sehingga hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pedoman pengembangan pengolahan pasir besi menjadi *sponge iron* dalam skala industri.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi penambahan reduktor arang pada pasir besi terhadap derajat Fe total dalam proses pembuatan *sponge iron*.
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi penambahan reduktor arang pada pasir besi terhadap derajat Fe metal dalam proses pembuatan *sponge iron*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis masalah, pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, yaitu :

1. Pasir besi berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat.



2. Komposisi pasir besi, arang, dan batu kapur dianggap homogen.
3. Asumsi tidak ada *heat loss* dalam *furnace*.
4. Reaksi pengaruh kanji yang digunakan sebagai pengikat diabaikan.
5. Permeabilitas dan porositas pasir besi diasumsikan sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh variasi komposisi penambahan reduktor arang terhadap derajat Fe total pada produk hasil reduksi pasir besi dalam pembuatan *sponge iron*.
2. Menganalisis pengaruh variasi komposisi penambahan reduktor arang terhadap derajat Fe metal pada produk hasil reduksi pasir besi dalam pembuatan *sponge iron*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi dalam bidang metalurgi ekstraksi di Indonesia, terutama dalam hal penggantian bahan yang tidak terbaharukan, dalam penelitian ini adalah batubara, dengan bahan bakar yang dapat diperbaharukan, dalam hal ini adalah arang dalam proses pereduksian pasir besi menjadi *sponge iron*, sehingga dapat meningkatkan produktivitas dalam pembuatan baja dalam negeri.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terbagi dalam Lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penulisan laporan hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berhubungan dan menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data yang diperoleh selama penelitian, pembahasan dari data yang diperoleh sesuai dengan permasalahan yang ditetapkan pada penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari data-data yang diperoleh dan merupakan jawaban dari permasalahan penelitian. Disertai dengan hal-hal yang sebaiknya dilakukan pada penelitian yang akan datang atau masalah-masalah yang dialami pada saat proses penelitian.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses *Direct reduction* (DR) Menggunakan Reduktan Padatan

Proses *direct reduction* menggunakan reduktan padatan dapat diklasifikasikan ke dalam dua golongan, yaitu proses batch menggunakan retort atau sagger sebagai ruang untuk bereaksi, dan proses kontinyu menggunakan *rotary kiln*. Pada proses batch, reduktan yang digunakan memiliki sifat *volatile* yang rendah, seperti antrasit, *coke breeze*, dan lainnya. Penambahan bahan bakar diperlukan sebagai pemanasan. Pada proses ini, konsentrat bijih kualitas tinggi atau *pellet* dapat digunakan untuk produksi serbuk besi atau *sponge iron*. Proses ini masih dilakukan dalam skala yang kecil, dan masih belum ditemukan dalam pegasplikasian komersial besar dikarenakan alasan perekonomian. Oleh karena sebab itu, produksi *sponge iron* menggunakan proses ini hanya cocok untuk kondisi yang sangat tertentu (S. Dasgupta, 1973).

2.2 *Iron ore* untuk Produksi *Sponge iron*

Meskipun cadangan bijih besi memadai, dukungan dari segi infrastruktur belum memenuhi kebutuhan dari pabrik *Direct reduction Iron* (DRI). Dalam proses penghancuran bijih besi untuk membuatnya menjadi ukuran yang sesuai dengan kalibrasinya, dihasilkan debu yang berlebihan, dan debu ini tidak serta merta dibuang begitu saja, karena masih banyak unsur berharga di dalamnya. Untuk meningkatkan basis sumberdaya, harus dilakukan benefisiasi pada konsentrat debu menjadi kandungan lebih dari 65%Fe *pelletizing* yang sama. *Pelletizing* adalah pengaglomerasian dari debu yang sangat halus, produk bahan baku dengan bentuk bundar dan memiliki diameter sekitar 9-16 mm dengan sifat sebagai umpan dalam *kiln* DRI (B. L. Agrawal, 2011).



Sifat penting lainnya dari *iron ore* untuk pembuatan *sponge iron* adalah kemampuannya untuk dipotong. Dikarenakan pada proses pembuatan *sponge iron* adalah padatan dan reaksi gas, gas harus masuk ke dalam bijih untuk mengikat oksigen. Jika sifat dapat dipotongnya baik, proses tersebut dapat dilakukan hanya dengan temperatur rendah dan permasalahan dalam akresi dapat dihindarkan. Karena rendahnya temperatur operasi, konsumsi dari batubara per ton *sponge iron* juga dapat direduksi.

Klasifikasi bijih besi yang ideal dituliskan pada Tabel 2.1 (Lalit Kumar Singhanian, 2015).

Tabel 2.1 Klasifikasi Bijih Besi Ideal

FeT	65 – 67 %
SiO ₂	0.7 – 1 %
P	0.05 % maksimum
S	0.01 % maksimum
Al ₂ O ₃	0.5 – 1.7 %
MgO	0.02 – 0.03 %
CaO	0.10 %

2.3 Pasir Besi

Pasir besi merupakan sumberdaya alam yang sangat melimpah dan tersebar diseluruh tanah air. Pasir besi terbentuk jutaan tahun yang lalu dari endapan batuan pada daerah pantai oleh hasil reaksi vulkanologi. Upaya pemanfaatan pasir besi lokal menjadi bahan baku material substitusi impor dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi merupakan suatu tantangan yang membutuhkan pengelolaan yang baik, sumber daya manusia yang kompeten untuk melaksanakannya serta rencana pemanfaatan yang mantap dan konsisten pelaksanaannya. Pasir besi di alam bebas memiliki kandungan oksida besi yang berbeda sesuai dengan letak geografisnya, namun sebagian pasir besi mengandung senyawa magnetite (Fe₃O₄), dan hematite (Fe₂O₃) serta unsur atau senyawa pengotor lainnya seperti Titanium, Silika dan Vanadium. Dalam mengidentifikasi material yang



terkandung dalam pasir besi dilakukan berbagai metode karakterisasi material diantaranya dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) serta diperkuat dengan Teknik Analisa Kimia Basah yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa ataupun unsur apa saja yang terkandung dalam pasir besi tersebut. Sampel pasir besi berasal dari kawasan pantai selatan pulau Jawa, yaitu Jawa bagian timur (lumajang), Jawa bagian tengah (Jogja) dan Jawa bagian Barat (Cipatujah) dengan rata-rata kadar Fe yang dimiliki sekitar 20-50% dari massa senyawa pasir besi. Bahan yang digunakan sebagai reduktor (pengikat oksida) adalah karbon aktif yang berupa briket batubara dengan nilai kalor menengah (5000-6000 BTU) ditambah dengan bahan penguat struktur (*binder*) dari tepung tapioka (kanji) agar spesimen dapat dibuat menjadi briket. Dalam proses peningkatan kadar Fe pada pasir besi menjadi produk *sponge iron* diperlukan dilakukan dengan proses reduksi baik proses reduksi langsung maupun proses reduksi tidak langsung (Barman Tambunan, 2016).

2.4 Batubara

Batubara merupakan bahan bakar solid yang dihembuskan, terbentuk dari vegetasi yang telah terkubur dan terurai selama ribuan tahun. Batubara digunakan untuk pembuatan *sponge iron* dan harus memenuhi sifat-sifat seperti Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat Batubara dalam Pembuatan *Sponge iron*

Volatil	28 – 32 %
Debu	25 – 30 %
<i>Fixed carbon</i>	40 – 42 %

Semakin rendah sifat volatilnya, semakin rendah reaktivitasnya. Semakin tinggi volatinya, semakin tinggi reaktivitasnya. Tetapi jika terlalu tinggi sifat volatilnya dapat menghancurkan batubara menjadi serbuk dan hanya membuang-buang aliran gas.



Ukuran dari batubara juga mempunyai pengaruh penting. Ukuran batubara yang dimasukkan ke dalam pengumpan harus berukuran 5 – 20 mm. Ukuran 10% dari 20 – 25 mm juga dapat ditoleransi. Ukuran batubara yang lebih besar memisah dan mengapung di atas *bed* dan akan terbakar tanpa ikut ke dalam *bed*.

Produk batubara mempunyai *char* (material yang hampir murni karbon, yang merupakan mineral tidak terbakar dari kayu) dengan reaktivitas tertentu. Reaktivitas *char* didefinisikan sebagai tingkat massa pada saat karbon di dalam *char* bereaksi dengan CO₂ untuk membentuk CO (karbon monoksida) sebagai reduktor utama. Kekuatan *char* juga merupakan faktor yang penting. *Char* yang sama cenderung untuk pecah, yang mana merupakan kehilangan dari karbonnya.

Persentase debu dalam batubara juga mempunyai efek langsung terhadap laju produksi dan konsumsi batubara. Dikarenakan volume dari *kiln* yang konstan, total volume bijih besi dan batubara yang dimasukkan juga konstan. Apabila debu meningkat, karbon tetap akan berkurang. Pada saat karbon tetap berkurang, batubara tambahan harus diberikan untuk menutupi kekurangan dari karbon tetap yang hilang. Sifat dari debu batubara juga penting karena berkaitan langsung dengan pembentukan akresi (Lalit Kumar Singhania, 2015).

2.5 Batu Kapur

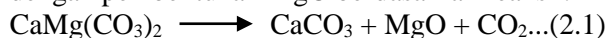
Bahan baku lainnya dalam proses pembuatan besi adalah limestone dan dolomit, yang dihancurkan dan diayak dengan ukuran 0.5 – 1.5 inci, mempunyai peran sebagai flux pada *blast furnace*. Flux ini bisa berupa batu kapur dengan kemurnian kalsium tinggi, batu kapur dolomit yang mengandung magnesia atau campuran dari keduanya. Batu kapur dilebur menjadi slag yang mengikat sulfur dan pengotor lainnya, dan dapat dicampur dengan batuan lainnya yang dapat mengoptimalkan pembentukan slag pada proses pembuatan besi (Lalit Kumar Singhania, 2015).



Salah satu bahan galian yang penting dan banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari adalah mineral berbasis karbonat yang umumnya terdapat dalam bentuk batuan Kalsit (CaCO_3), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), dan Magnesit (MgCO_3). Dolomit merupakan salah satu contoh bahan galian industri penting yang termasuk kelompok mineral karbonat. Dolomit tergolong dalam batuan sedimen karbonat yang merupakan kelas batuan sedimen. Dolomit terdiri atas dua mineral karbonat utama, yaitu Kalsit (CaCO_3) dan Magnesit (MgCO_3). Mineral dolomit dapat dituliskan dengan rumus kimia $\text{CaCO}_3\text{MgCO}_3$, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, atau $\text{Ca}_x\text{Mg}_{1-x}\text{CO}_3$, dengan nilai x kurang dari satu. Salah satu sifat kimia dari Dolomit adalah pada temperatur 737°C akan terjadi reaksi dekomposisi membentuk MgCO_3 , CaCO_3 dan MgO dengan melepaskan CO_2 (Jamiludin Lalu, 2010).

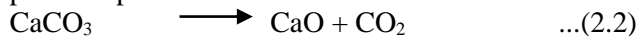
Dekomposisi dolomit di bawah tekanan parsial CO_2 yang cukup tinggi terjadi melalui dua tahap, yaitu :

1. Tahap pertama adalah pembentukan CaCO_3 simultan dengan pembentukan MgO berdasarkan reaksi :

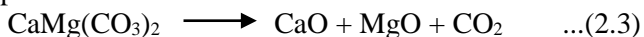


Tahap ini terjadi pada temperatur $550-765^\circ\text{C}$ dan stabil pada temperatur $900-910^\circ\text{C}$.

2. Tahap kedua berhubungan dengan reaksi dekomposisi CaCO_3 , terjadi pada temperatur $900-910^\circ\text{C}$ dan stabil pada temperatur $950-960^\circ\text{C}$.



Sedangkan untuk dekomposisi dolomit di bawah atmosfer udara atau tekanan parsial CO_2 cukup rendah diyakini bahwa Dolomit terdekomposisi berdasarkan reaksi :



(P. Engler, 1988)

2.6 Arang

Arang adalah residu hitam berisi karbon tidak murni yang dihasilkan dengan menghilangkan kandungan air dan komponen



volatil dari hewan atau tumbuhan. Arang umumnya didapatkan dengan memanaskan kayu, gula, tulang, dan benda lain. Arang yang hitam, ringan, mudah hancur, dan meyerupai batu bara ini terdiri dari 85% sampai 98% karbon, sisanya adalah abu atau benda kimia lainnya (Yayat Iman Supriyatna, 2012).

Bahan dasar pereduktor biomassa mulai dikembangkan untuk mengganti bahan dasar pereduktor fosil yang digunakan dalam *blast furnace*. Bahan bio-reduktor adalah pereduktor yang menggunakan biomassa dalam bentuk liquid, solid, dan gas yang berasal dari biomassa dan cocok untuk mereduksi oksida besi pada *blast furnace*. Bio-kokas didefinisikan sebagai produk yang dihasilkan dari campuran batubara kokas dan turunan dari produk biomassa, yaitu arang dalam bentuk karbon komposit. Beberapa penelitian telah dilakukan termasuk eksperimen menggunakan arang sebagai reduktor tambahan pada proses *blast furnace*. Penggunaan potongan arang pada bagian atas *blast furnace* telah dilakukan dan bisa menggantikan 20% penggunaan kokas (Kusno Isnugroho, 2015).

Tabel 2.3Perbandingan Karakteristik Arang dengan Kokas
(<http://www.supremecarbon.com/>, 2016)

Karakteristik	Arang	Kokas
Ukuran Partikel	2mm - 8mm	1mm - 15mm
Kandungan Air	1% - 2%	5% - 8%
Abu	5% - 8%	12% - 14%
Limbah abu	Bukan Limbah B3	Limbah B3
Zat Terbang	7% - 16%	2% - 6%
Karbon Tetap	70% -85%	80% - 85%
Nilai Kalori	7200 - 7600 kcal/kg	6500 - 6800 kcal/kg
Sulfur (S)	0,10%	0,60%
Fosfor (P)	0,02%	0,05%
Karbon Netral	Ya	Tidak



Perbandingan energi aktivasi untuk mereduksi iron *orepellet* menggunakan batubara dan arang ada pada Tabel 2.4 (Sandeep Kumar, 2008).

Tabel 2.4 Perbandingan energi aktivasi batubara dan arang pada proses reduksi iron ore

Reduktan	Energi Aktivasi (kJ)
Batubara	124.71
Arang	59.75

2.7 *Sponge iron*

Saat ini, *sponge iron* ditetapkan sebagai alternatif untuk *scrap* yang berperan sebagai metalisasi dalam *electric arc furnace* pada proses pembuatan baja. Kemungkinan pengaplikasian dari proses *Direct reduction* membutuhkan analisis dalam konteks ketersediaan bahan baku, khususnya reduktan (S. Dasgupta, 1973).

Tahap awal dari percobaan pembuatan *sponge iron* adalah dengan pembuatan *pellet* komposit. *Pellet* komposit adalah *pellet* yang sudah mengandung reduktor batubara. Prosedur percobaan adalah sebagai berikut :

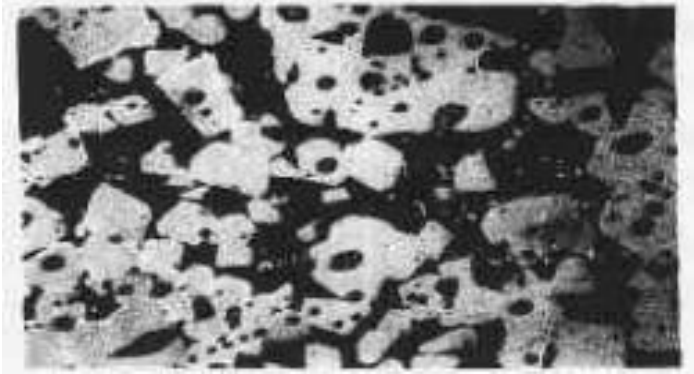
- a) penghalusan konsentrat menggunakan ball mill magnetic separator
- b) pembuatan green *pellet* dengan menggunakan *pelletizer*, dengan komposisi *pellet* adalah 40% batubara dan 2% bentonit sebagai binder
- c) pengeringan *pellet*
- d) reduksi di dalam tungku dengan temperatur 1200°C selama 3 jam
- e) hasilnya kemudian ditimbang untuk melihat pengurangan berat.

Pengamatan mikroskopis sampel *sponge* terdapat dua macam material yaitu logam dan non-logam.



Gambar 2.1 Struktur *Mikro Sponge iron* Bagian Luar

Untuk material logam terdiri dari dua jenis. Pada bagian luar *sponge iron*, seperti Gambar 2.1, material logam yang terbentuk berwarna putih terang, anisotropik dan bentuk kristalnya tidak sempurna. Material ini terikat oleh material non-logam yang berwarna gelap.



Gambar 2.2 Struktur Mikro *Sponge iron* Bagian Dalam

Pada bagian dalam sampel *sponge iron*, seperti pada Gambar 2.2, material logam yang terbentuk berwarna abu-abu, isotropik, berkrystal kubik sempurna dan sebagian telah terjadi bridging antar Kristal (Akhyar Ibrahim, 2012).

2.8 *Tunnel Kiln* dan Deskripsi Proses

Teknologi *tunnel kiln* bukan teknologibaru di Indonesia karena sudah banyak industri yang menggunakannya, tapi aplikasi pada pengolahan bahan tambang belum dikenal luas di kalangan industri. Dalam hal kebutuhan energi, *tunnel kiln* dapat memanfaatkan potensi gas alam mengatasi permasalahan-permasalahan di atas dengan mempertimbangkan kemampuan teknologi dalam negeri dengan didukung oleh sumber daya yang ada yang masih sangat besar dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia, namun karena kapasitas produksinya yang relatif lebih kecil daripada peralatan yang lain sehingga kurang berkembang di industri komersial (Barman Tambunan, 2016)

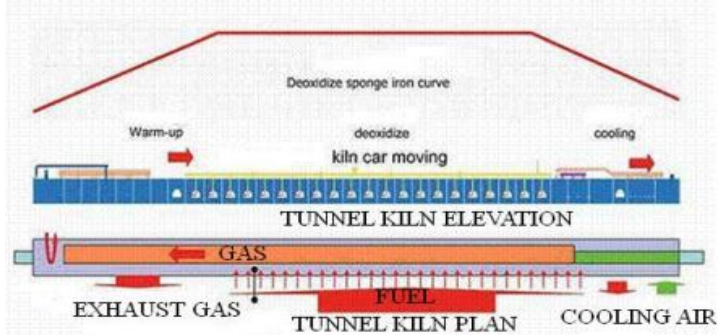
Tunnelkiln merupakan sebuah tungku yang biasa digunakan dalam industri pembuatan keramik. Namun dengan beberapa modifikasi, tungku ini dapat digunakan untuk mereduksi *pellet* komposit menjadi *sponge*. *Pellet* komposit berdiameter 10-20 mm dibuat menggunakan sebuah alat disc *pelletizer*, adapun



komposisi dari *pellet* adalah 75% bijih besi, 20% batubara, dan 5% bentonite. Dari proses ini dihasilkan *pellet* komposit tereduksi (*sponge*) dengan kadar 85 – 93% (Adil Jamali, 2008).

Pada proses ini, material dilewatkan pada rezim temperatur yang berbeda dari pemanasan, dan reduksi seperti pada *Blast furnace* tetapi dengan material *bed* yang tetap. Oleh karena itu, salah satunya mempunyai fleksibilitas dengan bahan baku. Kualitas dari produk sangat baik, dan juga prosesnya dapat diaplikasikan pada reduksi Ferro-nikel, ilminit, dan lainnya. Keuntungan lainnya adalah proses ini juga memanfaatkan debu benefisiari langsung tanpa terjadi pengerasan. Investasi dan pemeliharaan dari *tunnelkiln* juga rendah. Dikarenakan prosesnya menggunakan gas, ini juga ramah lingkungan. Tidak seperti pada *rotary kiln*, pemanasan dilakukan diluar dan memungkinkan penggunaan sumber karbon yang berbeda sebagai pemanas dan pereduksi. Satu-satunya kelemahan dari proses *tunnelkiln* adalah rendahnya produktivitas, sangat kurang bahkan jika dibandingkan dengan *rotary kiln*.

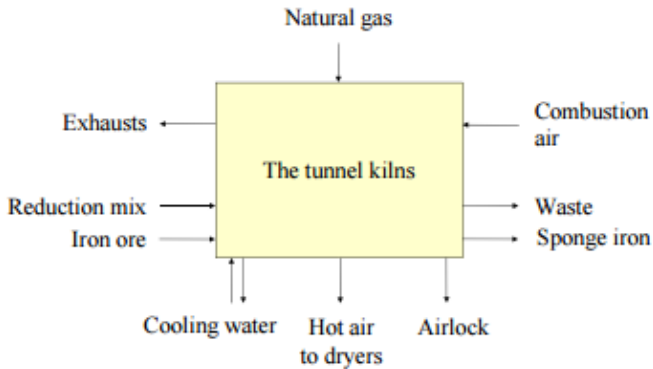
Tunnelkiln adalah sebuah tungku berisolasi panjang yang stasioner terbuat dari refraktori batu bata atau *pressed ceramic wool blanket*. Tungku ini memiliki rel tertentu di dalam *kiln* berfungsi sebagai jalannya troli. Material dimasukkan ke dalam troli yang kemudian masuk ke bagian ujung dari *kiln* melalui feed. Kemudian material keluar dari ujung lainnya *kiln*, berjalan di dalam *kiln* dengan kecepatan tertentu. *Kiln* mempunyai tiga daerah berbeda, yaitu pre-heat zone (pemanasan), firing zone (deoksida), dan cooling zone. Skema *tunnelkiln* terdapat pada Gambar 2.3 (S. C. Khattoi, 2013).



Gambar 2.3 Skema dari *Tunnel Kiln*

Gas alam digunakan untuk memanaskan *kiln*. Karbon di dalam kokas dan antrasit digunakan sebagai agen pereduksi dan juga sebagai bahan bakar. Campuran pereduksi yang terdiri dari kokas, antrasit, dan batu kapur, dimasukkan bersama *iron ore* di dalam kapsul yang ditumpuk di atas *cars* (tempat berjalannya *kiln*). Kemudian *cars* didorong dari ujung ke ujung melewati *tunnelkiln* tersebut. Waktu diantara dua *cars* memasuki *kiln* disebut dengan “*pushing time*”. Perlu diingat bahwa penurunan *pushing time* berarti kenaikan laju produksi. *Tunnelkiln* terdiri atas tiga zona : zona pemanasan, zona pembakaran, dan zona pendinginan. *Cars* pada *kiln* pertama-tama melewati zona pemanasan, kemudian melewati zona pembakaran dimana *ore* direduksi menjadi besi pada temperatur tinggi konstan sekitar 1100 – 1200 °C. Setelah itu, *cars* pada *kiln* didinginkan pada zona pendinginan di *kiln*. Proses *cars* pada *kiln* ini bisa berlangsung 2 – 3 hari untuk melewati sebuah *kiln*.

Gas pembakaran mengalir secara berlawanan arah dengan *cars* pada *kiln*. Ini berarti udara segar dingin mendinginkan *cars* yang panas dan setelah melewati zona pembakaran, gas buang panas dari pemanasan keluar dari *kiln*. Aliran pada proses dapat digambarkan pada Gambar 2.4 (Kristina Eriksson, 2005).



Gambar 2.4 Aliran Masuk dan Keluar dari *Tunnel Kiln*

2.9 Mekanisme Reduksi Fe

Proses reduksi yang terjadi diperkirakan berlangsung melalui beberapa tahap, secara garis besar diantaranya sebagai berikut :

1. Difusi gas CO melalui lapisan gas diam pada permukaan tumpukan partikel besi dan batubara.
2. Difusi gas CO ke dalam pori makro.
3. Difusi ke dalam pori mikro atau pori-pori yang ada di dalam pasir besi.
4. Reaksi kimia yang terjadi pada antar muka antara oksida dengan gas reduktor CO, sehingga oksigen yang terikat berupa oksida logam terputus dan menghasilkan produk gas baru yaitu CO_2 serta terjadi pembentukan dan pertumbuhan lapisan produk reaksi yaitu Fe. Pada fasa ini juga terjadi akumulasi gas CO dan produk Fe pada antar muka (pori mikro partikel).
5. Difusi produk gas reaksi (CO_2) melalui jalur yang sama dengan jalur gas reduktor (CO).

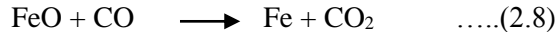
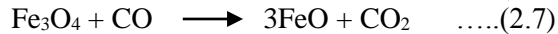
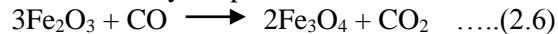
Pembahasan lebih rinci mengenai mekanisme reduksi yang berlangsung selama proses reduksi pasir besi di dalam *crucible*



adalah pada awalnya gas reduktor terbentuk dari beberapa reaksi yang dapat dituliskan di bawah ini :



Kemudian gas reduktor yang dihasilkan, yaitu CO, akan berdifusi melalui pori-pori makro sehingga kontak dengan permukaan partikel pasir besi. Pada permukaan partikel ini akan terjadi reaksi reduksi bertahap dan menghasilkan gas baru yaitu CO₂ yang akan berdifusi melalui jalur yang sama dengan jalur gas reduktor. Reaksi-reaksinya dapat dituliskan dibawah ini :



Berdasarkan reaksi-reaksi tersebut, terdapat kemungkinan bahwa hasil reduksi akan berupa lapisan-lapisan dari produk. Produk-produk tersebut secara berurutan dari yang terluar sampai yang terdalam adalah Fe, FeO, dan Fe₃O₄ (Muhammad Ansar Nasir, 2011).

Sementara besi sedang diekstrak, fluk batu-gamping bereaksi dengan unsur pengotor dalam bijih besi dan mencairkannya hingga membentuk slag, yang mencegah unsur pengotor itu mempengaruhi pengurangan kuantitas bijih besi secara efektif.



Untuk memastikan hasil akhir ekstraksi, dilakukan pengujian identifikasi unsur dan observasi morfologi menggunakan mass atomic spectrometer dan mikroskop optik (Resentqvist, 1983).

2.10 Kinetika pada Proses *Direct reduction*

Kinetika reaksi dari reduksi *iron ore* berhubungan dengan laju dari oksida besi dikonversi menjadi besi metalik dengan penghilangan unsur oksigen. Laju dari *ore* tereduksi mempengaruhi laju produksi, yang mana pada akhirnya menentukan kelayakan ekonomi dan daya saing dari teknologi



pada proses tersebut. Oleh sebab itu, laju reaksi pada proses *direct reduction* adalah yang paling utama. Reduksi pada oksida besi menjadi besi metalik diikuti dengan bermacam-macam langkah kinetik dan salah satunya adalah langkah yang paling lambat, yang mana mengontrol kesemua sebelas laju reaksi. Perbedaan faktor laju kontrol yang mempengaruhi semua laju kontrol reduksi disebutkan seperti dibawah ini.

2.10.1 Kontrol Boundary Layer

Pada kontrol *boundary layer*, semua laju reaksi dikontrol oleh difusi gas dan panas yang melalui *boundary layer* dari gas yang menumpuk di sekitar partikel. Laju dari difusi gas yang melewati *boundary layer* sebanding dengan gradien konsentrasi gas di seluruh lapisan. Kedua, laju aliran panas ke partikel sebanding dengan gradient temperatur di seluruh *boundary layer*. Kebanyakan proses *direct reduction*, kontak antara gas dan solid diperoleh dengan *counter current flow* dari gas pemanasan *bed* padatan.

2.10.2 Kontrol Reaksi Boundary Phase

Reaksi kimia pada antarmuka besi-wustit adalah faktor laju kontrol. Pada kasus ini, laju reduksi per unit luasan dari sisa oksida besi ditemukan konstan dengan waktu. Mekanisme ini disebut dengan kontrol reaksi *boundary phase*. Ketika difusi berlawanan arah dari gas pereduksi dan gas produk pada lapisan luar yang tereduksi cukup cepat, konsentrasi dari gas gas pereduksi pada permukaan yang bereaksi sama efektifnya dengan konsentrasi pada permukaan partikel. Mekanisme ini tidak seperti pada saat awal pereduksian, dimana lapisan besi sangat tipis, atau sangat berpori halus.

2.10.3 Kontrol Difusi Gas

Laju dari gas pereduksi ke dalam dan ke luar melewati lapisan besi yang tereduksi bisa mengontrol laju reduksi oksida besi. Fenomena ini umumnya dikaitkan dengan partikel *ore* yang besar dan dikenak dengan kontrol difusi gas. Saat difusi gas merupakan langkah untuk laju kontrol, laju dari difusi gas pereduksi ke dalam dan ke luar yang melewati lapisan pori dari



besi metalik mengelilingi inti dalam partikel yang tidak tereduksi, lebih lambat dari laju reaksi. Selama proses tersebut, konsentrasi dari gas pereduksi akan mengurangi gas produk dan menaikannya pada antarmuka. Perubahan pada komposisi gas akan memelankan laju reduksi hingga keadaan semu stabil tercapai. Ini adalah mekanisme kontrol laju pre-dominan untuk temperatur reduksi tinggi dengan partikel besar (lebih dari 7 mm) tereduksi sebanyak 50%, saat ketebalan lapisan besi melebihi 1 mm.

2.10.4 Kontrol Campuran

Pada saat kontrol difusi gas dan kontrol reaksi boundary phase bergabung mempengaruhi laju reduksi, mekanisme ini disebut sebagai kontrol campuran. Kontrol campuran telah diusulkan dengan berbagai percobaan untuk meyatukan berbagai kompleksitas dan hasil yang bertentangan yang didapatkan dari reduksi langsung oksida besi dengan mekanisme sederhana. Dalam kontrol campuran, *boundary layer* gas, reaksi *phase boundary* dan difusi gas bertindak bersama dibawah keadaan semu stabil. Untuk menentukan keseluruhan laju reaksi (Sandeep Kumar, 2008).

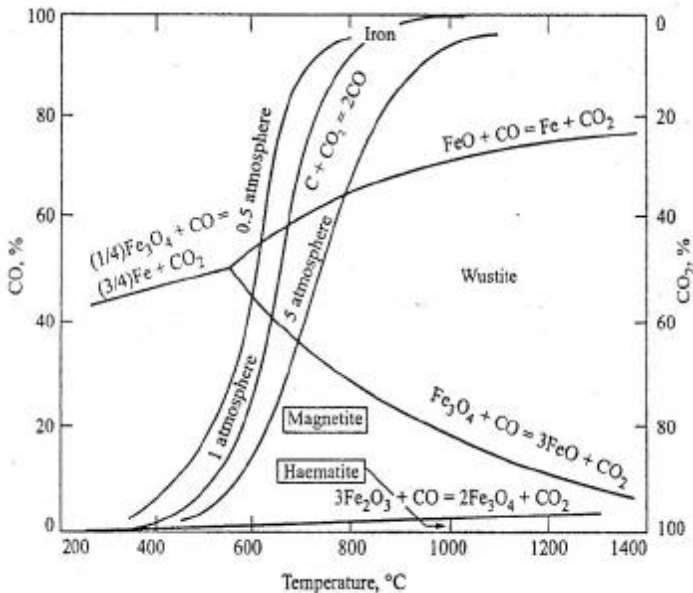
Reaksi batu bara dan bijih besi merupakan suatu sistem yang kompleks. Perubahan dalam reaksi sangat dipengaruhi oleh parameter perpindahan panas yang meliputi ukuran, bentuk, bobot jenis partikel dan kecepatan aliran panas. Perpindahan panas yang terjadi dalam proses reduksi adalah perpindahan panas secara konduksi. Proses konduksi adalah perpindahan panas melalui zat padat. Dalam sistem reduksi langsung dengan karbon, mekanisme perpindahan panas yang paling berpengaruh adalah konduksi dan konveksi (Sun, 1998).

Proses konduksi sangat bergantung pada suhu proses, sifat padatan dan fase gas yang terjadi sehingga nilai konduktifitas panas padatan merupakan salah satu hal penting dalam proses reduksi. Konduktivitas panas yang tinggi akan meningkatkan kecepatan laju reaksi. Perpindahan massa terjadi karena adanya gas CO dari batu bara yang bereaksi dengan bijih besi



membentuk logam besi (Fe), sehingga oksigen dilepaskan dari bijih besi tersebut dan karbon (C) akan bereaksi dengan karbon dioksida (CO_2) untuk membentuk CO. Aliran gas CO yang menyebabkan proses konveksi dan difusi dipengaruhi oleh perbedaan tekanan dan konsentrasi gas dalam sistem sehingga perpindahan massa dapat berjalan baik (Milandia, 2005).

Besi oksida yang berisi karbon dapat direduksi pada suhu lebih rendah. Penurunan suhu ketika reduksi bijih besi dengan karbon terjadi saat peningkatan efisiensi energi dan karbon sebagai CO_2 . Reaksi kimia yang terjadi pada proses reduksi langsung bijih besi dengan reduktor batu bara meliputi devolatilisasi batu bara, reduksi bijih besi dengan gas, dan gasifikasi arang batu bara (*char*). Devolatilisasi batu bara mulai terjadi lebih awal pada suhu rendah dengan laju reaksi lebih cepat dari reaksi reduksi bijih besi maupun gasifikasi arang batu bara (Seki, 2006). Kesetimbangan reaksi dapat dilihat pada Gambar 2.5





Gambar 2.5 Diagram Kesetimbangan Gas CO dan CO₂ untuk Reduksi Bijih Besi (Ross, 1980).

2.11 Pengujian pada Hasil Proses Reduksi

Untuk mengetahui hasil pembakaran yang berupa *sponge iron*, dilakukan proses identifikasi menggunakan metode karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD). Dengan metode ini dapat diketahui unsur dan senyawa yang terkandung dalam *sponge iron* tersebut. Identifikasi juga dilengkapi dengan uji surface/permukaan *sponge iron* dengan metode *Scanning Electron Microscopy-Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX) sehingga didapatkan komposisi unsur yang ada pada permukaan benda uji *sponge iron* tersebut.

Dari data-data tersebut dapat diketahui derajat metalisasi dari produk *sponge iron* yang dihasilkan pada proses reduksi pasir pada tungku bakar dengan teknologi *tunnelkiln*. Derajat metalisasi merupakan gambaran nilai Fe murni yang memiliki sifat logam sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri logam berikutnya. Masing-masing sampel memiliki derajat metalisasi yang berbeda tergantung keberhasilan proses reduksi yang dilakukan. Parameter operasi yang optimal dapat diketahui dalam proses eksperimental yang disesuaikan dengan karakteristik bahan baku yang digunakan termasuk bahan-bahan pendukung seperti bahan pengikat (reduktor) dan bahan penguat (*binder*) (Barman Tambunan, 2016).

2.12 Penelitian Sebelumnya

Sudah banyak penelitian yang dilakukan dalam hal efisiensi pereduksian pasir besi menggunakan bermacam-macam reduktor. Seperti yang dilakukan oleh Sandeep Kumar Baliarsingh dan Barun Mishra dari National Institute of Technology (2008) dengan judul penelitian “*Kinetics of Iron Ore Reduction by Coal and Charcoal*”. Tujuan dari penelitiannya adalah untuk membandingkan potensi reduksi dari batubara dan arang dalam pereduksian pellet bijih besi. Arang kayu



mengandung sedikit pengotor, sulfur, dan zat volatil yang membuat arang kayu digunakan sebagai pereduksi bijih besi. Variabel yang digunakan adalah waktu dan temperatur. Reduksi dilakukan pada temperatur 850°C, 900°C, 950°C, dan 1000°C dan persentase reduksinya dihitung pada 15, 30, 45, 60, dan 90 menit setelah furnace sampai pada temperatur reduksinya. Hasilnya terjadi peningkatan derajat reduksi seiring waktu dan temperatur dan penggunaan arang dibandingkan dengan batubara juga menaikkan derajat reduksi dikarenakan tingginya *fixed carbon* yang terdapat di dalam arang. Energi aktivasi penggunaan batubara lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan arang. Ini menunjukkan bahwa pereduksian bijih besi menggunakan arang akan lebih disenangi.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Dadang Hidayat (2009) dengan judul penelitiannya yaitu “Reduksi Bijih Besi Laterit dari Bayah Proinsi Banten dengan Reduktor Batubara” menghasilkan kesimpulan bahwa kadar silika menurun setelah dilakukan benefisiasi, yaitu 5.90% menjadi 2.69% sehingga kadar Fe total dapat meningkat dari 56.70 menjadi 64.51%. Batu bara yang digunakan termasuk jenis subbituminus dengan kadar *fixed carbon* 47.19% karenanya cukup efektif untuk proses reduksi. Penambahan bentonit berfungsi sebagai perekat sehingga pelet yang diperoleh lebih baik (cukup keras) dan kadar metalisasi lebih tinggi dibandingkan penambahan kapur dengan persen metalisasi berturut-turut 82.11 dan 80.63%. Suhu optimum yang diperoleh untuk mereduksi bijih besi laterit dari Bayah berkisar antara 1000 dan 1100 °C.

Selain itu, Dimas Nur Muharram (2012) dengan judul penelitiannya yaitu “Analisa Proses Reduksi Besi Oksida dengan Variasi Reduktor Arang Batubara Grafit dan Lama Penyinaran Menggunakan Gelombang Mikro”. Dalam penelitiannya dijelaskan bahwa reduksi pasir besi dapat dipercepat menggunakan energi gelombang mikro dan menghasilkan konsentrat Fe paling besar dengan perbandingan komposisi antara



pasir besi dan grafit sebesar 40 : 9.04 gram dengan lama penyinaran selama 60 menit yaitu 76.703%Fe.

Yayat Iman Supriyatna dari LIPI (2012) juga melakukan penelitian dengan judul “Study Penggunaan Reduktor pada Proses Reduksi Pellet Bijih Besi Lampung Menggunakan Rotary Kiln”. Pada penelitian ini akan meninjau penggunaan reduktor dalam proses reduksi pellet bijih besi menjadi *sponge iron*. Reduktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batubara, hasil reduksi dari batubara ini menjadi standar dalam menentukan kebutuhan reduktor dalam proses reduksi. Parameter yang ditinjau yaitu nilai fixed carbon dan kalori dari masing-masing bahan reduktor. Berdasarkan fixed carbon yang dimiliki bahan reduktor, kebutuhan masing-masing reduktor yaitu batubara 70 kilogram, arang kayu 41.3 kilogram, arang batok 39.87 kilogram, dan kokas 39.46 kilogram. Sedangkan bila ditinjau dari nilai kalori bahan reduktor, kebutuhan batubara 70 kilogram, arang kayu 57.92 kilogram, arang batok 76.42 kilogram, dan kokas 52.05 kilogram. Dari kedua parameter, fixed carbon dan kalori, kebutuhan batubara paling besar, namun jika ditinjau dari segi biaya paling kecil adalah penggunaan reduktor batubara.

Kemudian Amanda Arief Putra (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Studi Pengaruh Rasio Massa Antara Bijih Besi dan Reduktor Arang Batok Kelapa terhadap Proses Reduksi Langsung dengan Menggunakan Rotary Kiln Sederhana Skala Industri Rumah Tangga” mereduksi bijih besi laterit dari Kalimantan dengan arang batok kelapa. Perbandingan rasio massa antara bijih besi dan arang batok kelapa divariasikan menjadi 1:1, 1:2, dan 1:3. Kedua material dicampur dan dibakar hingga api menyebar merata, kemudian dimasukkan ke dalam rotary kiln, blower dinyalakan selama 15 menit kemudian kiln diputar dan dikondisikan proses berlangsung selama 15 menit. Hasilnya kemudian diuji XRD dan didapatkan bahwa semakin banyak reduktor, semakin banyak terbentuk hasil reduksi. Hasil reduksi yang paling efisien terdapat pada perbandingan 1:2.



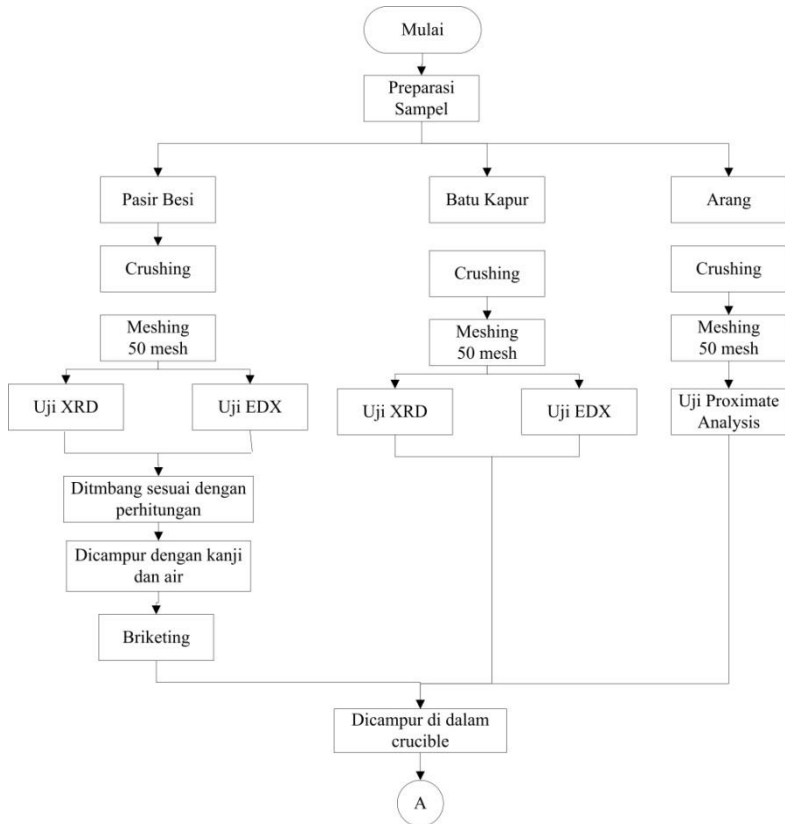
Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Barman Tambunan dari BPPT (2016), yaitu pengolahan pasir besi menjadi *sponge iron* menggunakan tunnel kiln. Dalam penelitiannya yang berjudul “Desain dan Simulasi Tungku Bakar untuk Pengolahan Pasir Besi menjadi *Sponge iron* dengan Teknologi Tunnel Kiln”, dituliskan bahwa benefisiasi merupakan salah satu parameter kunci keberhasilan pembuatan *sponge iron* menjadi bahan baku industri baja, semakin tinggi kandungan Fe_3O_4 & Fe_2O_3 pada pasir besi, kandungan Fe yang terbentuk pada *sponge iron* juga akan semakin tinggi. Beberapa parameter kunci lainnya yang menentukan keberhasilan proses reduksi adalah gas pereduksi (CO dan H_2) hasil dari proses pembakaran fuel serta lamanya waktu pembakaran. Derajat metalisasi dari *sponge iron* yang terbentuk adalah 36.68%.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

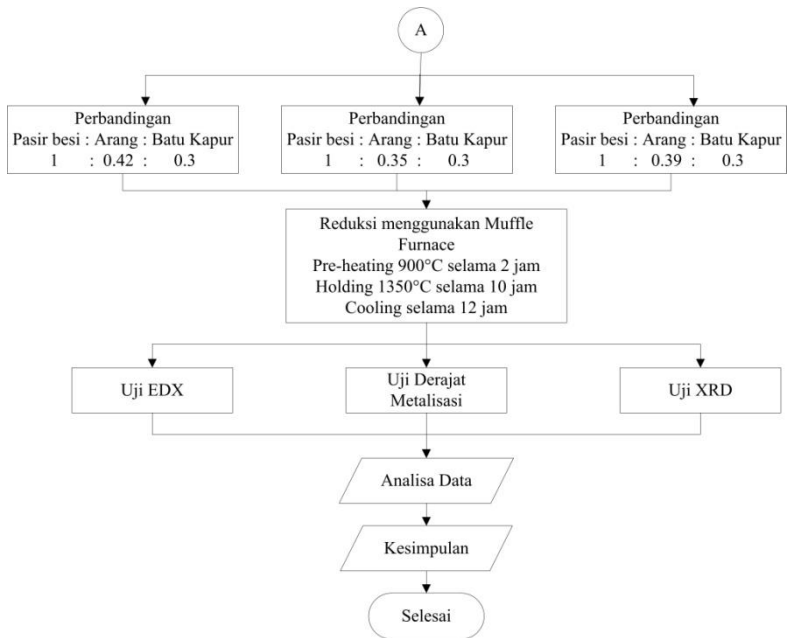
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir





BAB III METODE PENELITIAN



Gambar 3.1Diagram Alir Penelitian



3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Pasir Besi

Pasir besi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir besi yang berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat. Pasir besi ini diayak dengan ukuran ≤ 50 mesh.



Gambar 3.2 Pasir Besi dari Sukabumi

2. Batubara

Batubara merupakan reduktor padat. Pada penelitian ini digunakan batubara diayak hingga ukuran ≤ 50 mesh.



Gambar 3.3 Batubara



3. Batu kapur

Batu kapur yang berbentuk bongkahan kemudian dihancurkan dan diayak hingga ≤ 50 mesh.



Gambar 3.4Batu kapur

4. Arang

Dalam penelitian ini, arang digunakan sebagai pengganti batubara dalam proses reduksi pasir besi.

5. Kanji

Kanji digunakan sebagai pengikat (*binder*) dalam pembuatan briket.



Gambar 3.5Tepung Kanji sebagai binder



6. *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah LPG yang berfungsi untuk memanaskan *sagger* dalam *muffle furnace*.



Gambar 3.6 *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

1. *Sagger*

Sagger merupakan silinder tempat berlangsungnya proses, yang terbuat dari Silika Karbida (SiC).



Gambar 3.7 *Sagger*



2. Alat Kompaksi

Digunakan dalam proses pembuatan briket pasir besi untuk membentuk briket menjadi bentuk bantalan.



Gambar 3.8 Alat Kompaksi

3. *Muffle Furnace*

Muffle furnace merupakan tungku pereduksi yang digunakan dalam penelitian ini. Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut:

Diameter dalam	: 28 cm
Diameter luar	: 32 cm
Tinggi bagian luar	: 40 cm
Tinggi bagian dalam	: 36 cm
Tebal batu tahan api	: 5 cm



Gambar 3.9 *Muffle Furnace*

4. Timbangan Digital



Digunakan sebagai acuan takaran dari pasir besi, kanji, batubara, arang, dan batu kapur.



Gambar 3.10 Timbangan Digital

5. Ayakan
Merupakan alat yang menyeleksi bahan penelitian agar sesuai dengan ukuran butir yang diinginkan.
6. *Thermocouple*
Merupakan alat yang digunakan sebagai pengukur temperatur proses yang sedang berlangsung.



Gambar 3.11 *Thermocouple*



7. *Blower*

Merupakan alat untuk menghembuskan udara luar ke dalam *muffle furnace*.



Gambar 3.12*Blower*

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Material

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu :

1. Menumbuk pasir besi, arang, dan batu kapur dan kemudian mengayak hingga ≤ 50 mesh.
2. Menguji pasir besi menggunakan alat uji EDX dan XRD.
3. Menguji batu kapur dengan XRF.
4. Menguji batubara dan arang Proximate Analysis.
5. Membuat briket pasir besi.
6. Membuat bed yang terdiri dari campuran arang dan batu kapur.
7. Memasukkan campuran briket pasir besi ke dalam sagger dan mencampurnya dengan campuran bed sesuai perbandingan berat.

3.4.2 Proses Reduksi

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses pereduksian pasir besi yaitu :

1. *Sagger* yang berisi bahan baku dimasukkan dalam *muffle furnace*.



2. Pemanasan sagger dilakukan *pre-heating* pada temperatur 900°C selama 2 jam dan dilakukan *holding* pada temperatur 1350 °C selama 10 jam.
3. Sampel didinginkan didalam *muffle furnace* selama 12 jam.
4. Setelah proses ekstraksi selesai, sampel dikeluarkan dari *muffle furnace*. Hasil ekstraksi dikeluarkan dari *sagger*, selanjutnya akan dilakukan proses pengujian EDX, XRD, dan derajat metalisasi.

3.5 Pengujian

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian untuk mendapatkan data yang sesuai dengan tujuan dari penelitian. Pengujian antara lain:

1. Pengujian EDX
Identifikasi juga dilengkapi dengan uji permukaan *sponge iron* dengan metode *Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDX) sehingga didapatkan komposisi unsur yang ada pada permukaan benda uji *sponge iron* tersebut.
2. Pengujian XRD
Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) dari sampel hasil reduksi dengan menggunakan alat XRD PANalytical. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang 10-5 ~10 nm, berfrekuensi 10¹⁷ ~10²⁰ Hz dan memiliki energi 10³ ~10⁶ eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.



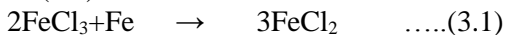
3. *Proximate Analysis*

Pengujian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan utama batubara yaitu: Moisture, Volatile Matter, Fixed Carbon, dan Ash.

- *Moisture*, adalah kadar air yang terkandung di dalam batubara, nilai ini didapatkan ketika sample batubara dialirkan udara panas pada temperature 104-110°C. Bobot yang hilang itulah kadar moisture pada batubara. Prosedure lengkap pengetesaannya dapat dibaca pada ASTM D3173.
- *Volatile Matter*, adalah kandungan batubara yang mudah menguap jika dipanaskan selain moisture. Metode pengetesan dapat dibaca ASTM D3175.
- *Fixed carbon*, adalah material padat selain ash pada batubara. Metode penentuannya tidak ada standar khusus, tetapi merupakan selisih bobot batubara dikurangi bobot moisture, volatile matter, dan ash (sesuai prosedur di ASTM D3172).
- *Ash*, adalah kandungan abu pada batubara. Metode pengetesannya dapat dilihat di ASTM D3174.

4. Derajat Metalisasi

Untuk mengetahui Fe metal yang terbentuk dilakukan pengujian derajat metalisasi dengan metode besi klorida. Standar pengujian yang dilakukan adalah IS 15774: 2007. Metode ini melibatkan pelarutan sampel dalam larutan besi (iii) klorida dengan dilanjutkan filtrasi dan titrasi besi yang terlarut dalam filtrat. Reaksi antara besi (III) klorida dan besi metalik (3.6).



a. Bahan

1. Besi (iii) klorida (10 persen)
2. Larutkan 100 gram besi (iii) klorida ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dalam air dan larutkan hingga 1 liter
3. Asam Klorida (HCl) 32%
4. Asam Pospat (H_3PO_4) 85%



-
5. Asam Sulfat (H_2SO_4) 98%
 6. Indikator Sodium Diphenylamine Sulphonate
 7. Larutkan tepat 0.32 gram barium diphenylamine sulphonate dalam 100 ml air panas. Tambahkan 0.5 gram sodium sulfat (Na_2SO_4). Aduk dan saring endapan barium sulfat. Simpan filtrat dalam botol berwarna gelap.
 8. Potasium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
 9. Larutkan tepat 4.903 gram potasium dikromat (yang sebelumnya telah dikeringkan pada 100 hingga 110) dalam air 1000 ml. Campur dan gunakan sebagai larutan standar
 10. Aquades
- b. Alat
1. Kertas saring medium
 2. Gelas Erlenmeyer 500 ml
 3. Gelas beaker 500 ml
 4. Gelas beaker 1000 ml
 5. Pipet tetes
 6. Biuret
 7. Magnetic stirrer berlapis polypropilena
 8. Furnace
 9. Botol hitam
 10. Sarung tangan
 11. Masker
 12. Tissue
- c. Prosedur
1. Masukkan 1 gram sampel dalam gelas Erlenmeyer 500 ml.
 2. Tambahkan 200 ml larutan besi klorida.
 3. Tutup gelas Erlenmeyer.
 4. Aduk larutan dengan magnetic stirrer selama 1 jam.
 5. Saring larutan dengan kertas saring medium.
 6. Cuci residu dengan HCl.



-
7. Masukkan filtrat dalam gelas beaker 1000 ml yang mengandung air 400 ml air, 25 ml asam sulfat, 25 ml asam pospat, 3 hingga 4 tetes sodium diphenylamine sulphonate.
 8. Titrasi dengan larutan potasium dikromat (0.1 N) hingga larutan berwarna hijau gelap. 1 ml 0.1 $K_2Cr_2O_7 = 0.001862$ gram besi metalik, Fe (M)
$$\%Fe (M) = Fe (M) / Fe (T) \times 100 \dots (3.2)$$

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian karakterisasi terhadap bahan-bahan yang digunakan, yaitu pasir besi, batu kapur, dan arang.

4.1.1 Pasir Besi

Pasir besi yang digunakan sebagai bahan penelitian berasal dari daerah Sukabumi, Jawa Barat. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) dan *X-ray Diffraction* (XRD). Sebelum dilakukan pengujian, pasir besi dihancurkan kemudian diayak hingga ukuran ≤ 50 mesh.

Pengujian EDX dilakukan menggunakan alat SEM/EDX yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Dari hasil pengujian didapatkan komposisi unsur yang terdapat pada pasir besi yang berasal dari Sukabumi, Jawa Barat, dijelaskan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji EDX pada Sampel Pasir Besi

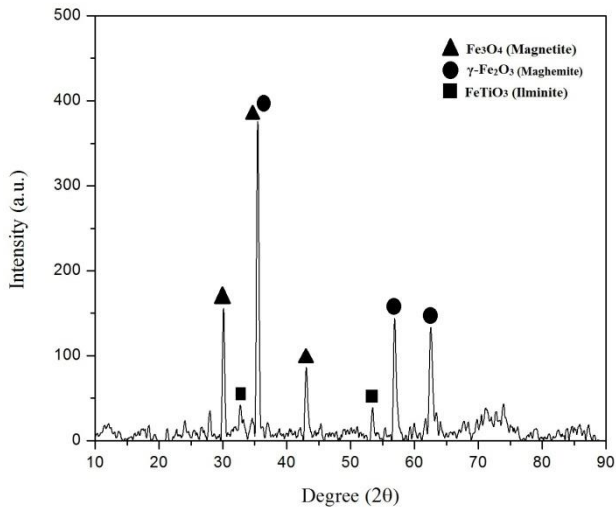
Unsur	Fe	Si	Mg	O	Ti	Al
% Berat	57.93	3.14	2.72	24.4	8.46	2.66

Dari hasil uji EDX, didapatkan sampel pasir besi mengandung unsur paling dominan 57.93 %Fe, 24.4 %O, dan 8.56 %Ti. Kandungan Fe pada pasir besi masih tergolong rendah apabila dilakukan proses ekstraksi langsung dan masih banyak mengandung Ti yang harus dihilangkan dalam proses pembuatan *sponge iron*.

Selanjutnya, dilakukan pengujian XRD pada sampel pasir besi menggunakan alat *XRD PANalytical X'Pert* yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Pengujian XRD ditujukan untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung dalam sampel pasir



besi yang berasal dari Sukabumi. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 \AA .



Gambar 4.1 Identifikasi Senyawa Pengujian XRD Pasir Besi

Hasil pengujian XRD Pasir besi Sukabumi dianalisis, kemudian dari Gambar 4.1 dijelaskan, pasir besi Sukabumi mengandung senyawa Magnetite (Fe_3O_4) dengan *peak* 2θ pada 30.0555, 35.3866, dan 3.0173. Kemudian senyawa Maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dengan *peak* 2θ pada 35.5731, 56.9104, dan 62.4581 dan senyawa Ilminite (FeTiO_3) dengan *peak* 2θ pada 32.7505 dan 53.3979. JCPDS *card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 01-061-6338 (Magnetite), 00-002-1047 (Maghemite), dan 01-070-6284 (Ilminite).



4.1.2 Arang

Arang yang digunakan pada penelitian ini adalah arang batok kelapa sebagai reduktor pasir besi dalam pembuatan *sponge iron*. Reduktor akan mereduksi besi oksida menjadi besi metalik dengan menyediakan atom karbon (C) yang akan bereaksi dengan gas CO₂ menghasilkan gas CO, seperti pada reaksi Boudouard persamaan (2.5). Karakterisasi yang dilakukan pada arang batok kelapa adalah uji *Proximate Analysis* yang dilakukan di Laboratorium Energi – LPPM ITS. Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil karakterisasi dari arang batok kelapa yang dijelaskan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian *Proximate Analysis* dari Arang Batok Kelapa

Jenis Uji	Hasil	Satuan
<i>Moisture</i>	4.10	
<i>Ash Content</i>	14.18	%, adb
<i>Volatile Matter</i>	18.76	
<i>Fixed Carbon</i>	62.96	
<i>Total Moisture</i>	4.93	%, ar

Dari hasil pengujian, didapatkan jumlah kandungan air (*moisture*) sebesar 4.10 %, kandungan debu (*ash content*) sebesar 14.18 %, zat penguap (*volatile matter*) sebesar 18.76 %, dan karbon tetap (*fixed carbon/FC*) yang terkandung di dalam arang batok kelapa sejumlah 62.96 %.

4.1.3 Batu kapur

Batu kapur pada penelitian ini diuji *X-ray Fluorescence* (XRF) dan *X-ray Diffraction* (XRD). Sebelum dilakukan pengujian, batu kapur dihancurkan kemudian diayak hingga ukuran ≤ 50 mesh.

Pengujian XRF dilakukan menggunakan alat *Olympus Delta Premium Handheld XRF Analyzers* milik PT. Asia Resource Sejahtera. Dari hasil pengujian didapatkan komposisi



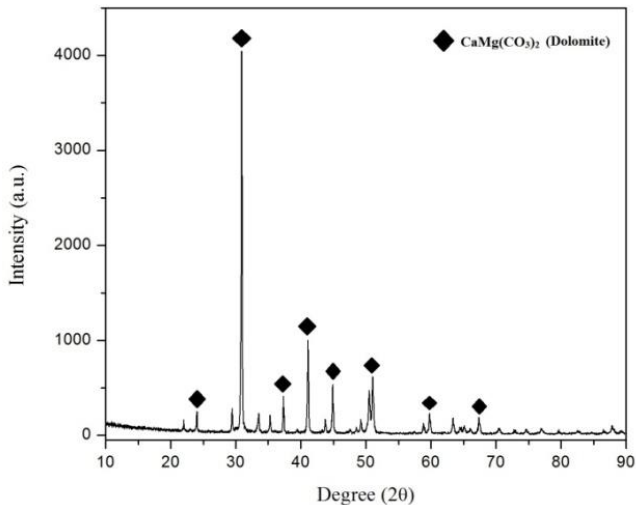
unsur yang terdapat pada batu kapur yang berasal dari Gresik, Jawa Timur, dijelaskan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian XRF pada Batu kapur

Unsur	Mg	Ca	Na	Fe	S	Al	Zr
Berat (%)	14.6135	18.015	0.546	0.072	0.041	0.004	0.0007

Dari hasil uji XRF, didapatkan sampel batu kapur mengandung unsur 14.6135 %Mg, dan 18.015 %Ca. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan jumlah senyawa MgO dan CaO adalah 24.23 % dan 25.21 %.

Selanjutnya, dilakukan pengujian XRD pada sampel batu kapur menggunakan alat *XRD PANalytical X'Pert* yang ada di Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi. Pengujian XRD ditujukan untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung dalam sampel batu kapur. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ 10° sampai 90° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 Å.



Gambar 4.2Identifikasi Senyawa Pengujian XRD Batu kapur

Hasil pengujian XRD batu kapur dianalisis, dan dari Gambar 4.2 dijelaskan, batu kapur mengandung senyawa $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ atau yang sering disebut dengan Dolomite. JCPDS *card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 01-073-2361.

Batu kapur berperan dalam menyediakan gas CO_2 dari reaksi dekomposisi batu kapur dan mengikat pengotor, seperti sulfur. Dari hasil pengujian XRF dan XRD yang telah dilakukan, dolomit berperan dalam menyediakan gas CO_2 melalui reaksi dekomposisi dolomit pada persamaan (2.1). Gas CO_2 hasil dekomposisi dolomit berperan dalam menyediakan gas reduktor CO melalui reaksi Boudouard persamaan (2.5).



4.2 Pengaruh Variasi Komposisi Penambahan Reduktor Arang terhadap Derajat Fe Total

Arang berperan dalam menyediakan atom C yang nantinya akan bereaksi untuk menyediakan gas reduktor. Konsentrasi gas reduktor sangat berpengaruh terhadap hasil reduksi. Dalam penelitian ini dilakukan variasi komposisi arang untuk mencari perbandingan komposisi arang terhadap pasir besi dan batu kapur yang optimal. Komposisi reduktor arang divariasikan terhadap pasir besi dan batu kapur dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Variasi Komposisi Arang terhadap Pasir Besi dan Batu Kapur

No Sampel	Keterangan	Pasir besi	Arang	Batu kapur
1	Komposisi awal	1	0.35	0.3
2	Penambahan 10%	1	0.39	0.3
3	Penambahan 20%	1	0.42	0.3

Pada sampel pertama, perbandingan pasir besi : arang : batu kapur adalah 1 : 0.35 : 0.3. Kemudian pada sampel kedua dengan penambahan komposisi reduktor arang sebanyak 10% dari komposisi awal, perbandingan pasir besi : arang : batu kapur adalah 1 : 0.39 : 0.3. Dan pada sampel ketiga dengan penambahan komposisi reduktor arang sebanyak 20% dari komposisi awal, perbandingan pasir besi : arang : batu kapur adalah 1 : 0.42 : 0.3. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Asshid (2015), penambahan batu kapur dapat mempengaruhi kadar Fe dalam derajat metalisasi dan hasil reduksi. Oleh karena itu, pada penelitian ini, komposisi batu kapur dikurangi sebanyak 30% dari 1000 gram pasir besi, atau perbandingan antara pasir besi : batu kapur adalah 1 : 0.3.

Identifikasi hasil reduksi pasir besi menggunakan reduktor arang dilakukan menggunakan pengujian *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) untuk mengetahui unsur-unsur yang

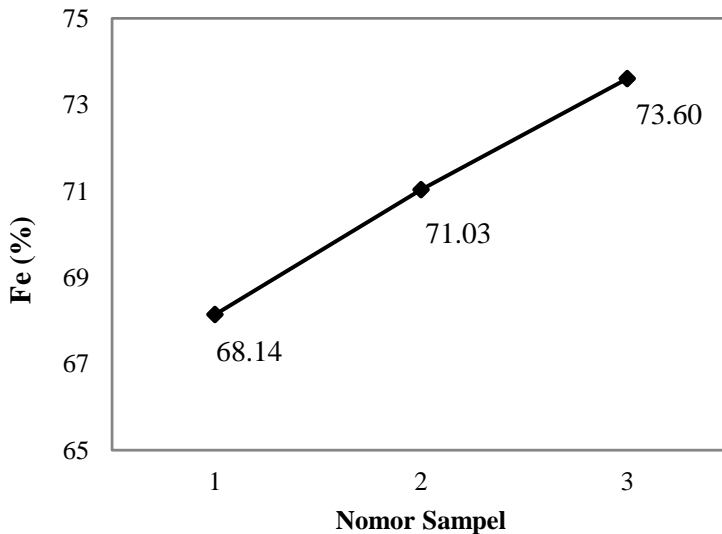


terkandung di dalam *sponge iron* yang terbentuk. Adapun hasil pengujian EDX dijelaskan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian EDX pada *Sponge iron* dengan Reduktor Arang

Sampel	Fe (%)	Si (%)	Mg (%)	O (%)	Ti (%)	Al (%)
1	68.14	01.89	03.22	06.51	12.52	03.09
2	71.06	01.67	02.27	07.51	06.92	02.09
3	73.60	00.98	02.11	07.02	07.80	02.02

Dari hasil uji EDX menunjukkan bahwa kadar Fe meningkat dari sampel 1, 2, dan 3. Disisi lain, kadar Si, Mg, dan Al mengalami penurunan. Perbandingan kadar Fe pada sampel 1, 2, dan 3 ditunjukkan pada Gambar 4.3.

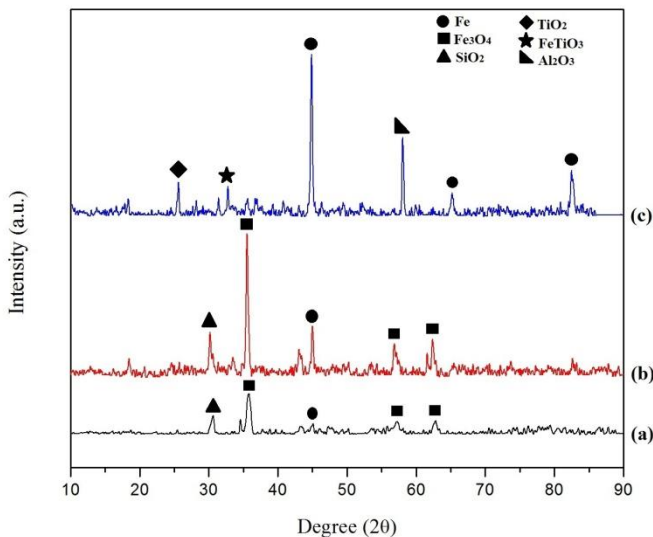


Gambar 4.3 Perbandingan Kadar Fe pada Sampel *Sponge iron* Hasil Reduksi Menggunakan Reduktor Arang



BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Dari Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa telah terjadi peningkatan Fe seiring dengan penambahan komposisi reduktor arang. Untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari hasil reduksi pasir besi menggunakan reduktor arang, sampel diuji menggunakan alat uji *X-ray Diffraction* (XRD).



Gambar 4. 4Hasil Pengujian XRD *Sponge Iron* pada Sampel (a) 1, (b) 2, dan (c) 3

Terlihat pada Gambar 4.4, pada sampel 1 (a) *sponge iron* dengan komposisi awal perbandingan antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3, hanya terbentuk Fe dalam jumlah yang masih sangat kecil pada *peak* 2θ di 45.1 yang telah dicocokkan dengan *PDF-2 Release 2011* dengan nomor JCPDF card 01-071-4648, dan fasa dominan yang terbentuk adalah Fe_3O_4 atau Magnetite pada *peak* dengan 2θ di 35.8, 57.2, dan 62.78 dengan nomor JCPDF card 00-001-1111, dan juga terbentuk SiO_2 pada *peak* 2θ di 30.64 dengan nomor JCPDF card 00-015-0026.



Begitu juga pada sampel 2 (b) *sponge iron* komposisi penambahan arang sebanyak 10% dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.39 : 0.3, fasa Fe yang terbentuk masih dalam jumlah sedikit pada *peak* 2 θ di 45 dengan nomor JCPDF *card* 001-071-4648, dan fasa dominannya adalah Fe_3O_4 atau Magnetite pada *peak* 2 θ di 35.54, 56.86 dan 62.38 dengan nomor JCPDF *card* 00-001-111, juga terbentuk SiO_2 pada *peak* 2 θ di 30.2 dengan nomor JCPDF *card* 00-015-0026.

Untuk sampel 3 (c) *sponge iron* komposisi penambahan arang 20% dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3, terlihat sudah terbentuk fasa Fe dengan adanya *peak* 2 θ pada 44.9, 65.22, dan 82.48 dengan nomor JCPDF *card* 001-071-4648, serta terbentuk Al_2O_3 pada *peak* 2 θ di 58.06 dengan nomor JCPDF *card* 00-001-1243. Selain itu, di dalam sampel (c) *sponge iron* masih terkandung FeTiO_3 dan terbentuk TiO_2 yang masing-masing ditandai dengan *peak* 2 θ pada 32.78 dengan nomor JCPDF *card* 00-002-0880 dan 25.63 dengan nomor JCPDF *card* 00-002-0406.

Fasa Fe mengindikasikan terjadinya proses reduksi, sedangkan fasa Fe_3O_4 dan FeTiO_3 yang muncul menunjukkan difusi gas reduktor dalam pasir besi belum optimal. Fasa TiO_2 muncul dari reaksi reduksi FeTiO_3 menjadi Fe dan TiO_2 yang terjadi pada 900-1100°C. Fasa SiO_2 merupakan pengotor yang muncul dari hasil reduksi pasir besi membentuk *slag*. Fasa FeO tidak muncul disebabkan FeO merupakan fasa yang stabil di atas temperatur 570°C.

Pada *sponge iron* hasil reduksi sampel 1 dan sampel 2, fasa Fe_3O_4 muncul dengan *peak* yang paling tinggi dan dominan, menandakan masih belum optimalnya proses reduksi. Kemudian untuk *sponge iron* sampel 3, dengan komposisi penambahan arang 20% telah terbentuk Fe, menandakan proses reduksi telah berlangsung pada komposisi ini.

Perpindahan massa terjadi karena adanya gas CO dari batu bara yang bereaksi dengan bijih besi membentuk logam besi



(Fe), sehingga oksigen dilepaskan dari bijih besi tersebut dan karbon (C) akan bereaksi dengan karbon dioksida (CO_2) untuk membentuk CO. Aliran gas CO yang menyebabkan proses konveksi dan difusi dipengaruhi oleh perbedaan tekanan dan konsentrasi gas dalam sistem sehingga perpindahan massa dapat berjalan baik (Milandia, 2005).

Proses reduksi yang berlangsung belum optimal dikarenakan kurangnya persediaan C yang berasal dari arang, sehingga C yang bereaksi dengan gas CO_2 menjadi gas CO tidak mencukupi kebutuhan untuk mereduksi pasir besi. Pada perhitungan neraca massa yang telah dilakukan, seharusnya kebutuhan gas CO pada komposisi sampel 1 sudah terpenuhi dan proses reduksi akan berlangsung, sehingga terbentuk Fe pada sampel *sponge iron*. Tetapi dari hasil pengujian XRD yang dilakukan pada sampel 1 dengan komposisi awal perbandingan antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3, *peak* Fe yang muncul masih kecil dan menandakan Fe yang terbentuk masih sedikit, dan Fe masih dominan dalam bentuk oksida Fe_3O_4 . Ini terjadi dikarenakan gas CO_2 tidak seluruhnya bereaksi dengan C seperti pada reaksi Boudouard persamaan (2.9). Gas CO_2 yang seharusnya kontak dengan atom C membentuk gas CO tidak terjadi secara optimal.

Agar gas CO yang terbentuk dapat memenuhi kebutuhan untuk mereduksi pasir besi, komposisi arang ditambah untuk memperbanyak persediaan atom C yang berasal dari arang. Dengan penambahan arang 10%, seperti pada sampel 2 dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.39 : 0.3, dari hasil pengujian XRD dijelaskan, fasa yang paling dominan muncul masih dalam bentuk oksida Fe_3O_4 , walaupun *peak* Fe yang muncul sudah lebih tinggi daripada sampel 1 dengan komposisi awal perbandingan antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3. Fasa Fe yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan sampel 1. Ini menandakan persediaan atom C yang bereaksi dengan gas CO_2 masih belum



memenuhi kebutuhan untuk menghasilkan gas CO yang optimal untuk mereduksi pasir besi.

Dengan ditambahkannya arang pada sampel 3 komposisi penambahan arang sebanyak 20% dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3, hasil XRD menunjukkan peak yang paling tinggi adalah fasa Fe, menandakan reaksi reduksi telah terjadi, walaupun masih ada fasa FeTiO_3 dan TiO_2 yang muncul. Ini menandakan kebutuhan atom C yang berasal dari arang untuk mereduksi pasir besi telah terpenuhi pada komposisi ini. Atom C akan bereaksi dengan gas CO_2 untuk membentuk gas CO. Gas CO yang terbentuk telah memenuhi kebutuhan untuk dapat mereduksi pasir besi. Fasa FeTiO_3 dapat direduksi oleh gas CO pada temperatur 900-1100 °C, menghasilkan Fe dan TiO_2 di permukaan butir. Selain itu, komposisi batu kapur yang dikurangi menyebabkan energi yang digunakan dalam dekomposisi batu kapur menjadi berkurang dan energi yang seharusnya digunakan dalam dekomposisi batu kapur tersebut dapat menyebabkan reaksi reduksi FeTiO_3 terjadi.

Dari hasil pengujian EDX dan XRD pada ketiga sampel *sponge iron* dengan reduktor arang, dapat disimpulkan penambahan arang pada pasir besi Sukabumi pada sampel 3 dengan komposisi penambahan 20% arang menghasilkan *sponge iron* yang paling baik dengan terbentuknya Fe dengan kadar yang paling tinggi dibandingkan dengan sampel 1 komposisi awal dan sampel 2 dengan penambahan arang 10%.

4.3 Pengaruh Variasi Komposisi Penambahan Reduktor Arang terhadap Derajat Fe Metal

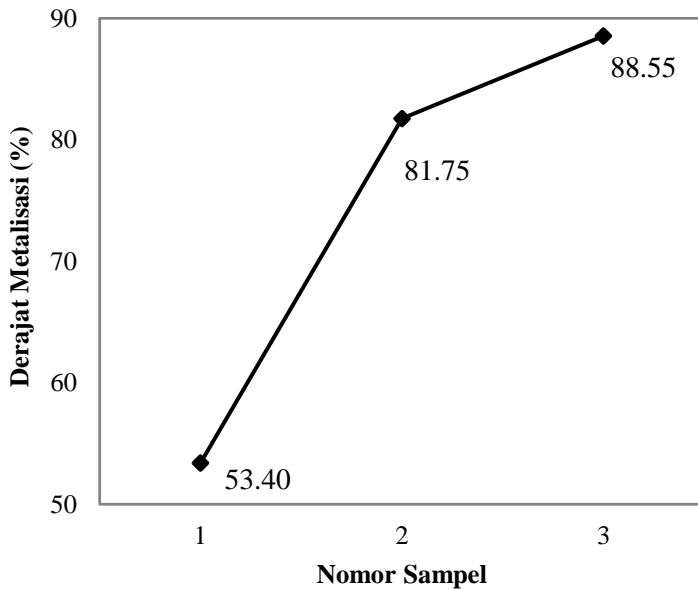
Derajat metalisasi merupakan presentase Fe metal yang terbentuk dari Fe total yang ada pada *sponge iron* hasil reduksi. Pengujian derajat metalisasi menggunakan standar IS 15774 : 2007 dengan menggunakan metode besi klorida. Hasil pengujian dituliskan pada Tabel 4.6.



Tabel 4.6 Hasil Pengujian Derajat Metalisasi dari *Sponge iron* dengan Reduktor Arang

Nomor Sampel	Derajat Metalisasi (%)
1	53.40
2	81.75
3	88.55

Dari hasil pengujian derajat metalisasi, dapat dibuat grafik pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Hasil Pengujian Derajat Metalisasi

Variasi komposisi arang akan mempengaruhi terbentuknya besi metalik pada hasil reduksi. Dari Gambar 4.5 ditunjukkan bahwa jumlah Fe metal meningkat pada *sponge iron* hasil reduksi menggunakan reduktor arang. Pada sampel 1 dengan perbandingan komposisi awal antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3, menunjukkan kenaikan kadar besi



metalik pada sampel 2 penambahan 10% arang dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.39 : 0.3 dan pada sampel 3 penambahan 20% arang perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3.

Terjadi kenaikan kadar Fe metalik pada sampel 1,2, dan 3 dapat terlihat dari hasil pengujian XRD pada Gambar 4.4. Pada hasil pengujian XRD terlihat bahwa *peak* Fe yang terbentuk pada sampel 1 dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3 masih menghasilkan *peak* yang kecil intensitasnya, sehingga Fe metalik yang terbentuk masih sedikit.

Kemudian pada sampel 2 dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.39 : 0.3 menghasilkan *peak* yang lebih tinggi jika dibandingkan pada sampel 1, menandakan Fe metalik yang terbentuk sudah lebih banyak.

Dan pada sampel 3 dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3 telah menghasilkan *peak* Fe yang paling tinggi dari ketiga sampel, yang menandakan banyak Fe metalik yang terbentuk pada sampel 3.

Fe metalik yang terbentuk dari Fe total pada sampel 1 dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3 adalah sebesar 53.40%. Kemudian Fe metalik yang terbentuk dari Fe total pada sampel 2 dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.39 : 0.3 adalah sebesar 81.75%. Dan Fe metalik yang terbentuk dari Fe total pada sampel 3 perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3 adalah sebesar 88.55%.

Pada sampel 1 dengan komposisi awal sesuai dengan perhitungan neraca massa seharusnya sudah menghasilkan Fe metalik yang tinggi. Tetapi dari hasil penelitian, Fe metalik yang dihasilkan masih rendah. Ini disebabkan kurangnya gas reduktor CO yang tidak mereduksi semua besi oksida yang terkandung



dalam pasir besi dikarenakan tidak optimalnya reaksi yang terjadi dalam pembentukan gas reduktor CO. Gas reduktor CO berasal dari bereaksinya atom C dari arang dengan gas CO₂ dari batu kapur. Semakin banyak komposisi arang yang digunakan menandakan semakin banyak C yang akan berubah menjadi gas CO yang dihasilkan apabila bereaksi dengan CO₂ atau reaksi Boudouard pada reaksi (2.5), sehingga gas CO dapat mereduksi pasir besi dan menghasilkan Fe. Dengan ditambahkan arang pada pasir besi dan batu kapur, telah dihasilkan Fe metalik yang lebih tinggi pada sampel 2 dan sampel 3.

Dari hasil penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa *sponge iron* sampel 3 komposisi penambahan arang 20% dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3 memiliki derajat Fe metalik paling baik dibanding dengan sampel 1 komposisi awal perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.35 : 0.3 dan sampel 2 penambahan arang 10% dengan perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.39 : 0.3.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin banyak arang yang digunakan untuk mereduksi pasir besi, semakin tinggi kadar Fe yang terbentuk pada *sponge iron*. Penambahan komposisi arang pada pasir besi Sukabumi yang paling baik adalah sampel 3 dengan perbandingan antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3.
2. Semakin banyak arang yang digunakan untuk mereduksi pasir besi menyebabkan semakin tinggi kadar Fe metalik yang terbentuk pada *sponge iron*. Derajat metalisasi tertinggi pada *sponge iron* hasil reduksi paling baik yaitu ada pada sampel 3 dengan komposisi penambahan arang 20% yaitu sebesar 88.55% Fe metalik pada Fe total untuk perbandingan komposisi antara pasir besi : arang : batu kapur sebesar 1 : 0.42 : 0.3.

5.2. Saran

Untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya, terdapat beberapa saran yang dapat diperhatikan dan dilakukan sebagai berikut :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut terhadap komposisi penambahan arang terhadap pasir besi dengan komposisi yang paling optimal dalam proses pembuatan *sponge iron*.
2. Melakukan penelitian terhadap jenis arang yang paling baik digunakan untuk mereduksi pasir besi dan menghasilkan Fe yang tinggi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, B. L. 2011. *Upgrading Quality of Inputs to Augment the Viability of Coal Based Sponge iron Sector in India*. India : Sponge iron Manufacturers Association January.
- Dasgupta, S., J. C. Agrawal, B. Roy. 1973. *Application of Solid Reductant Processes for Direct Reduction in India*. Calcutta : M. N. Dastur & Co (P) Ltd. Consulting Engineers.
- Eriksson, Kristina, Mario Larsson. 2005. *Energy Survey of the Sponge iron Process*. Sweden : Lund Institute of Technology.
- Engler, P., M. W. Santana, M.L. Mitleman, D. Balazs. 1988. *Non-Isothermal In Situ XRD Analysis of Dolomite Decomposition*. He Rigaku Journal 2, 3-8.
- Feinman, J. 1999. *Direct Reduction and Smelting Processes*. U.S. : J. Feinman and Associates, Inc.
- Hidayat, Dadang. 2009. *Reduksi Bijih Besi Laterit dari Bayah Provinsi Banten dengan Reduktor Batu Bara*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Ibrahim, Akhyar, Ilyas Yusuf, Azwar. 2012. *Identifikasi Senyawa Logam dalam Pasir Besi di Provinsi Aceh*. Majalah Ilmiah BISSOTEK, no. 1, April, 44-51.
- Isnugroho, Kusno, David C. Birawidha. 2015. *Production of Wood Charcoal as Bio-reductor in Blast Furnace*. Teknologi Indonesia 38 (3), 126-134.
- Jamali, Adil, Fajar Nurjaman, Karna. 2008. *Rancang Bangun Tungku Reduksi Pellet Komposit Tipe Tunnel Kiln (Tungku Lorong)*. Prosiding Seminar Nasional Pengolahan Bijih Besi.

- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2016. *Cadangan Batubara Indonesia sebesar 12 Milliar Ton*.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2014. *Profil Industri Baja*.
- Khattoi, S. C., G. G. Roy. 2013. *Sponge iron Production from Ore – Coal Composite Pellets in Tunnel Kiln*.
- Khattoi, S. C., G. G. Roy. 2014. *Reduction Efficiency of Iron Ore – Coal Composite Pellets in Tunnel Kiln for Sponge iron Production*. Trans Indian Inst. Met.
- Kumar, Sandeep Baliarsingh, Barun Mishra. 2008. *Kinetics of Iron Ore Reduction by Coal and Charcoal*. Rourkela : National Institute of Technology.
- Lalu, Jamiludin. 2010. *Artikel Bahan Galian Industri : Dolomit*. Makalah Ilmiah, Program Studi Kimia Fakultas MIPA Uniersitas Mataram, Mataram, 7-10.
- Milandia, A. 2005. *Studi Pendahuluan Pembuatan Besi Spons menggunakan Bijih Besi Lokal Dengan Reduktor Campuran Batu bara–Greencoke*. Cilegon: Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Muharram, Dimas Nur. 2012. *Analisa Proses Reduksi Besi Oksida dengan Variasi Reduktor (Arang, Batubara, Grafit) dan Lama Penyinaran Menggunakan Gelombang Mikro*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Oediyani, Soesaptri, Kustiarana Willyandhika, Suharto. 2016. *The Effect of reduction Time and Size Distribution of Mixed Iron Ore with Coconut Shell Charcoal on the Percentage of Metallization by Using A Rotary Kiln*. International Journal of Technology 3, 355-373.

- Pardianto, Bambang. 2009. *Tinjauan Rencana Pembangunan Industri Besi Baja di Kalimantan Selatan*.
- Putra, Amanda Arief. 2014. *Studi Pengaruh Rasio Massa Antara Bijih Besi dan Reduktor Arang Batok Kelapa terhadap Proses Reduksi Langsung dengan Menggunakan Rotary Kiln Sederhana Skala Industri Rumah Tangga*. Depok : Universitas Indonesia.
- Ross, H. U., 1980. *Physical Chemistry: Part I Thermodynamics. Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use*. Warrendale : The Iron and Steel Society
- Seki, I., K. Nagata. 2006. *Reduction Kinetics of Hematite Powder Mechanically Milled with Graphite*. ISIJ International 46(1), 1–7.
- Singhania, Lalit Kumar. 2015. *Detailed Project Report for Suraj Product Limited*. Raipur : Indus Technical and Financial Consultants Ltd.
- Sun, S. 1999. *A Study of Kinetics and Mechanism of Iron Ore Reduction in Ore/Coal Composite*. Kanada : McMaster University.
- Supriyatna, Yayat Iman, Muhammad Amin, Suharto. 2012. *Study Penggunaan Reduktor pada Proses Reduksi Pellet Bijih Besi Lampung Menggunakan Rotary Kiln*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM : Sains, Teknologi, dan Kesehatan.
- Tambunan, Barman, Cuk Supriyadi, dan Juliansyah. 2016. *Desain dan Simulasi Tungku Bakar untuk Pengolahan Pasir Besi menjadi Sponge iron dengan Teknologi Tunnel Kiln*. M. P. I. Vol. 10, no. 1, 51-60.

Usman, Dedi Nasrudin. 2010. *Ketersediaan Potensi Endapan Bijih Besi Indonesia dalam Mendukung Industri Besi dan Baja Nasional*.

LAMPIRAN

1. Perhitungan Neraca Massa (*Mass Balance*)

a. Pasir Besi

Dari data pengujian XRD, diperoleh presentase berat masing masing senyawa yang terkandung dalam pasir besi yang diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat. Dengan basis perhitungan 1000 gr.

Tabel 1. Hasil Uji XRD Pasir Besi

No	Senyawa	Presentase %
1	Fe ₃ O ₄ (Magnetit)	46,06569
2	Fe ₂ O ₃ (Maghemit)	16,33
3	FeTiO ₃ (Ilmenite)	21,273
4	Impuritis	16,24

b. Arang

Dari data pengujian *Proximate Analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi *fixed carbon* dari :

Tabel 2. *Fixed Carbon* pada Arang

No	Jenis arang	Fixed Carbon (%)
1	Tempurung Kelapa	62,96

c. Batu kapur

Dari data Pengujian XRF, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

Tabel 3. Hasil XRF Batu kapur

Parameter	Ca	Mg	Si	Fe	S	Al
% Berat	18.082	13.742	0.546	0.072	0.004	0.001

Dari kadar persentase Fe₃O₄ (Magnetit), Fe₂O₃ (Maghemit), dan FeTiO₃ (Ilmenite) hasil uji XRD dalam pasir besi,

diasumsikan dalam setiap briket pasir besi terdapat 1000 gram pasir besi maka,

$\text{Fe}_3\text{O}_4 = 460,65 \text{ gram} \gg 1,9855 \text{ mol}$

$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 163,3 \text{ gram} \gg 1,0018 \text{ mol}$

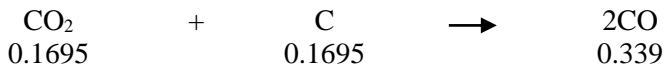
$\text{FeTiO}_3 = 212,73 \text{ gram} \gg 1,4004 \text{ mol}$

a. Reaksi Reduksi Fe_2O_3

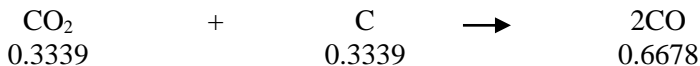
• Reaksi 1



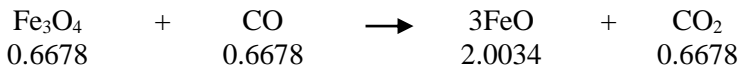
CO_2 Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



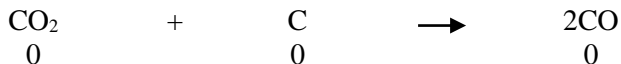
Reaksi gas CO_2 hasil reaksi 1 dengan C arang



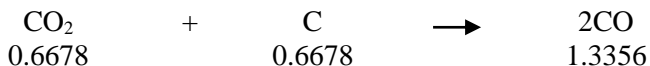
• Reaksi 2



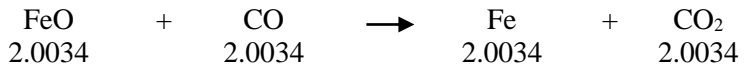
CO_2 Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



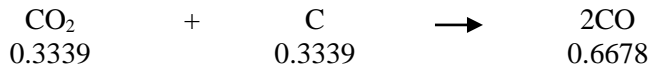
Reaksi gas CO_2 hasil reaksi 1 dengan C arang



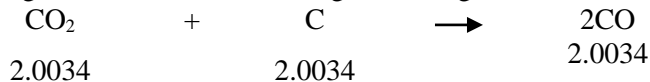
• Reaksi 3



CO₂ Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.

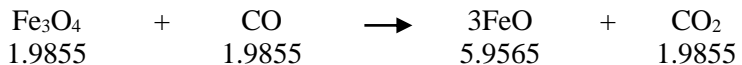


Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C arang

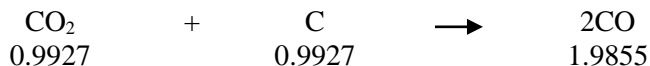


b. Reaksi Reduksi Fe₃O₄

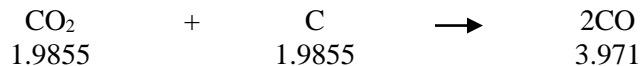
• Reaksi 1



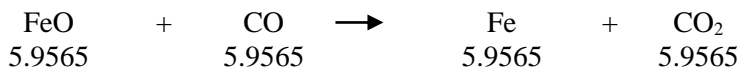
CO₂ Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



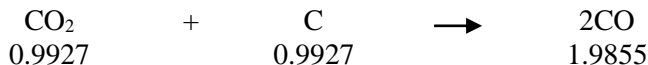
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C arang.



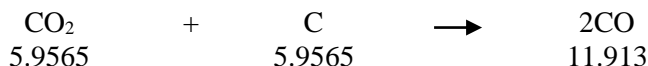
• Reaksi 2



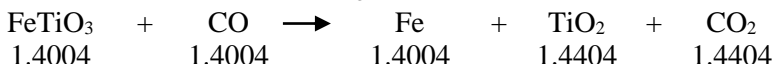
CO₂ Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



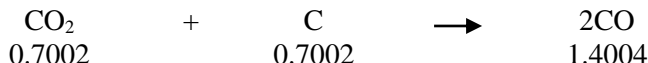
Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C arang.



c. Reaksi Reduksi FeTiO₃



CO₂ Hasil reaksi dekomposisi batu kapur yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan C arang.



Reaksi gas CO₂ hasil reaksi 1 dengan C arang.



Perhitungan Kebutuhan arang tempurung kelapa

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0.1695 + 0.3339 + 0 + 0.6678 + 0.3339 + 2.0034 \\ &\quad + 0.9927 + 1.9855 + 0.9927 + 5.9565 + 0.7002 + \\ &\quad 1.4004 + 0.8304 \\ &= 18.3669 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 18.3669 \times 12 \\ &= 220.40 \text{ gram} \end{aligned}$$

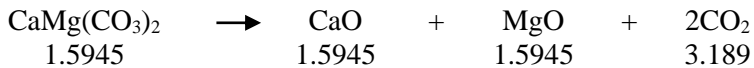
$$\text{Massa arang yang dibutuhkan} = \frac{100}{62,96} \times \text{massa C}$$

$$= \frac{100}{62,96} \times 220.40 \text{ gram}$$

$$= 350.06 \text{ gram}$$

Perhitungan Kebutuhan kapur

$$\begin{aligned} \text{Total CO}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= 0.1695 + 0 + 0.3339 + 0.9927 \\ &\quad + 0.9927 + 0.7002 \\ &= 3.189 \text{ mol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Massa Dolomite} &= \text{mol CaMg(CO}_3)_2 \times \text{Mr CaMg(CO}_3)_2 \\ &= 3.189 \times 184.3935 \text{ gram} \\ &= 588.0308715 \text{ gram} \end{aligned}$$

Massabatu kapur yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0.3% dari berat total *ore* (Ashid, 2015).

Tabel 4. Perbandingan Pasir Besi: Arang : Batu kapur dalam 1000 gram Pasir Besi

No	Komposisi Arang	Pasir besi	arang	Batu kapur
1	Awal	1000	350.06	300
2	Penambahan 10%	1000	385,07	300
3	Penambahan 20%	1000	420.07	300

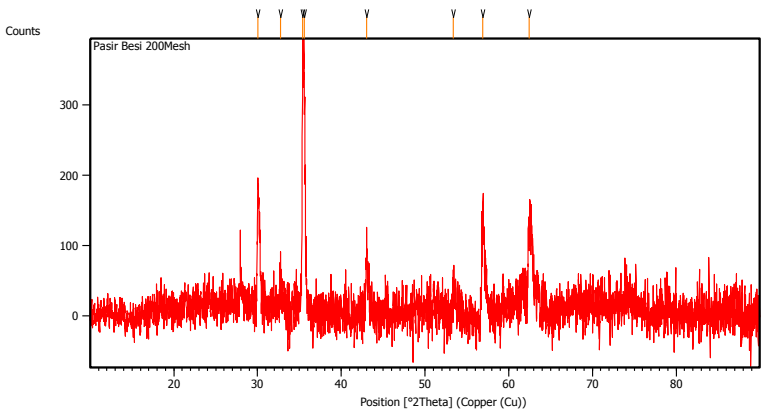
Kemudian dibuat perbandingan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Pasir Besi : Arang : Batu kapur

No	Komposisi Arang	Pasir besi	Arang	Batu kapur
1	Awal	1	0.35	0.3
2	Penambahan 10%	1	0.39	0.3
3	Penambahan 20%	1	0.42	0.3

2. Hasil Uji XRD

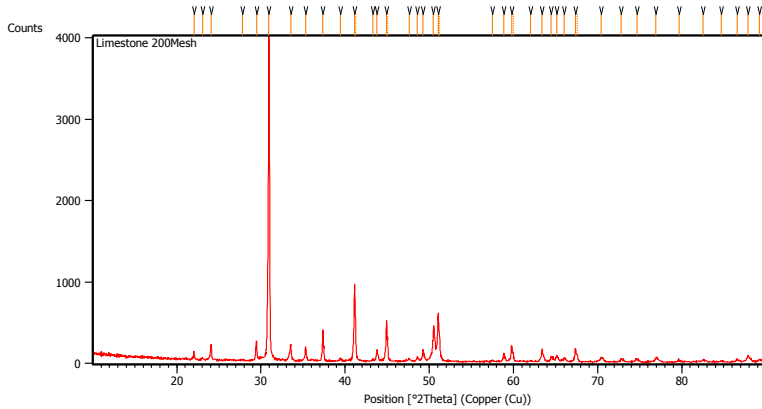
a. Pasir Besi Sukabumi



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.0555	173.35	0.1673	2.97329	44.21
32.7505	53.88	0.2007	2.73452	13.74
35.3866	392.13	0.0669	2.53663	100.00
35.5731	330.12	0.1673	2.52376	84.19
43.0173	98.12	0.2676	2.10270	25.02
53.3979	42.55	0.3346	1.71585	10.85
56.9104	153.59	0.2676	1.61801	39.17
62.4581	98.51	0.4015	1.48697	25.12

b. Batu kapur

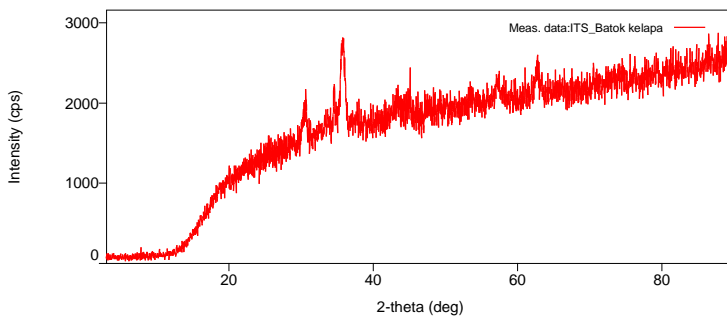


Peak List:

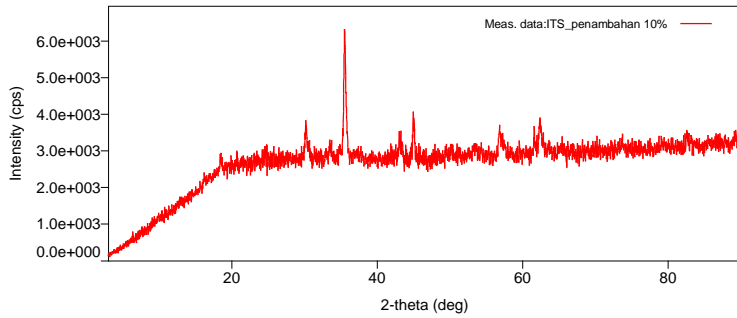
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0253	96.98	0.0836	4.03577	2.41
23.0640	20.57	0.2007	3.85633	0.51
24.0750	194.18	0.0669	3.69663	4.82
27.8354	10.58	0.2007	3.20519	0.26
29.4675	241.94	0.1171	3.03127	6.01
30.9404	4025.23	0.1004	2.89025	100.00
33.5214	198.52	0.0836	2.67338	4.93
35.2988	170.14	0.1004	2.54274	4.23
37.3602	380.36	0.0836	2.40704	9.45
39.4620	31.78	0.1338	2.28355	0.79
41.1198	943.84	0.1224	2.19342	23.45
41.2406	491.06	0.0612	2.19271	12.20
43.2661	21.03	0.1632	2.08945	0.52
43.7884	142.23	0.0816	2.06573	3.53
44.9227	494.58	0.1020	2.01617	12.29
45.0616	260.36	0.0612	2.01528	6.47
47.5962	35.20	0.1632	1.90897	0.87
48.5714	49.76	0.1224	1.87290	1.24
49.2485	133.08	0.0816	1.84872	3.31
50.4901	387.48	0.1428	1.80613	9.63

51.0620	566.64	0.1224	1.78724	14.08
51.2255	338.04	0.0612	1.78634	8.40
57.5178	15.27	0.2448	1.60104	0.38
58.8791	102.10	0.1224	1.56723	2.54
59.8041	196.15	0.1428	1.54518	4.87
59.9851	116.90	0.0612	1.54477	2.90
62.0630	12.17	0.4896	1.49425	0.30
63.4062	153.55	0.1020	1.46579	3.81
64.4703	62.17	0.1632	1.44414	1.54
65.1337	66.92	0.2448	1.43103	1.66
66.0429	53.28	0.1632	1.41351	1.32
67.3645	172.51	0.1428	1.38896	4.29
67.6030	82.52	0.1224	1.38808	2.05
70.4225	45.24	0.2448	1.33595	1.12
72.8225	38.38	0.1224	1.29772	0.95
74.6692	43.69	0.2856	1.27014	1.09
76.9099	47.27	0.2040	1.23862	1.17
79.6817	30.40	0.1632	1.20236	0.76
82.5618	31.60	0.3264	1.16756	0.79
84.6788	9.42	0.9792	1.14369	0.23
86.5982	28.35	0.1632	1.12320	0.70
87.8726	83.43	0.2856	1.11017	2.07
89.2212	28.87	0.4080	1.09685	0.72

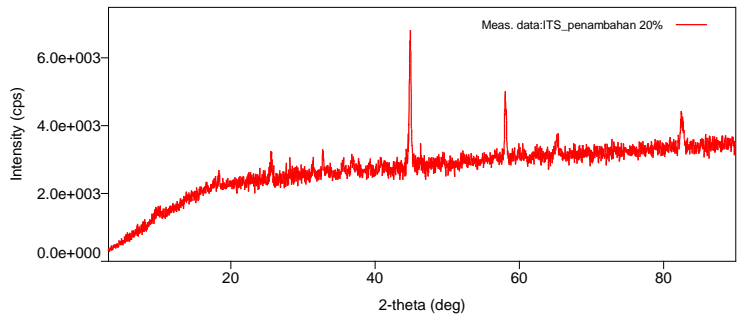
c. Sponge Iron dengan Reduktor Arang Komposisi Awal



d. *Sponge Iron* dengan Penambahan Reduktor Arang 10%



e. *Sponge Iron* dengan Penambahan Reduktor Arang 20%



3. JCPDF Card

a. 01-071-6338

Date: 1/3/2017 Time: 11:13:20 AM User: Teknik Material

File: Pasir Besi 200 Mesh

Name and formula

Reference code: 01-071-6338
 Compound name: Iron Oxide
 Common name: iron diiron(III) oxide, magnetite HP, syn
 Empirical formula: Fe_3O_4
 Chemical formula: Fe_3O_4

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: Fd-3m
 Space group number: 227
 a (Å): 8.3390
 b (Å): 8.3390
 c (Å): 8.3390
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Volume of cell (10^{-6} pm^3): 579.69
 Z: 8.00
 RIR: 5.09

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient pressure
 Alternate Pattern
 Alloy, metal or intermetallic
 Subfiles: Common Phase
 Forensic
 ICSD Pattern
 Inorganic
 Mineral
 Quality: Star (S)

Date: 1/3/2017 Time: 11:13:20 AM User: Teknik Material

File: Pasir Besi 200 Mesh

Comments

ANX: AB2X4
 Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANX: AB2X4
 Analysis: Fe3 O4
 Formula from original source: Fe3 O4
 ICSD Collection Code: 77590
 Pressure of Data collection: 2500 MPa
 Wycroff Sequence: e d a (FDD-MZ)
 Unit Cell Data Source: Single Crystal.

References

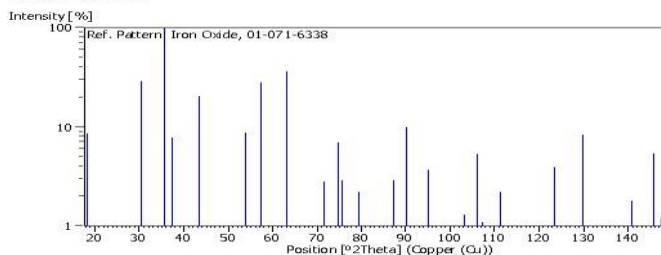
Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++
 Structure: Finger, L.W., Hazen, R.M., Hofmeister, A.M., *Phys. Chem. Miner.*, **13**, 215, (1986)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	4.61450	19.413	8.5
2	2	2	0	2.94830	30.291	29.0
3	3	1	1	2.51430	35.681	100.0
4	2	2	2	2.40730	37.324	7.7
5	4	0	0	2.06480	43.368	20.5
6	3	3	1	1.91310	47.487	0.6
7	4	2	2	1.70220	53.813	8.6
8	5	1	1	1.60480	57.370	28.1
9	4	4	0	1.47410	63.008	36.5
10	5	3	1	1.40960	66.250	0.8
11	6	2	0	1.31850	71.496	2.8
12	5	3	3	1.27170	74.562	6.9
13	6	2	2	1.25720	75.572	2.9
14	4	4	4	1.20360	79.583	2.2
15	7	1	1	1.16770	82.550	0.4
16	6	4	2	1.11440	87.454	2.9
17	7	3	1	1.08560	90.399	10.0
18	8	0	0	1.04240	95.287	3.7
19	7	3	3	1.01880	98.241	0.1
20	6	4	4	1.01120	99.241	0.1
21	8	2	2	0.98280	103.216	1.3
22	7	5	1	0.96290	106.256	5.3

Date: 1/3/2017Time: 11:13:20 AMUser: Teknik Material						File: Pasir Besi 200Mer
23	6	6	2	0.95650	107.285	1.1
24	8	4	0	0.93230	111.428	2.2
25	9	1	1	0.91530	114.615	0.2
26	8	4	2	0.90990	115.682	0.1
27	6	6	4	0.88890	120.126	0.6
28	9	3	1	0.87420	123.562	3.9
29	8	4	4	0.85110	129.664	8.3
30	9	3	3	0.83810	133.591	0.1
31	8	6	2	0.81770	140.791	1.8
32	9	5	1	0.80620	145.674	5.4
33	10	2	2	0.80240	147.478	1.2

Stick Pattern



b. 00-002-1047

Date: 1/3/2017 Time: 11:13:32 AM User: Teknik Material File: Pasir Besi 200

Name and formula

Reference code: 00-004-0755
 Mineral name: Maghemite, syn
 Compound name: Iron Oxide
 Common name: γ -Fe₂O₃
 Empirical formula: Fe₂O₃
 Chemical formula: Fe₂O₃

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: P4132E
 Space group number: 213
 a (Å): 8.3500
 b (Å): 8.3500
 c (Å): 8.3500
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Volume of cell (10⁻⁶ nm³): 582.18
 Z: 10.67
 RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Exipient
 Forensic
 Inorganic
 Mineral
 Pharmaceutical
 Quality: Blank (B)

Comments

Creation Date: 1/1/1970
 Modification Date: 1/11/2011
 Deleted Or Rejected By: Deleted by 00-039-1346
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

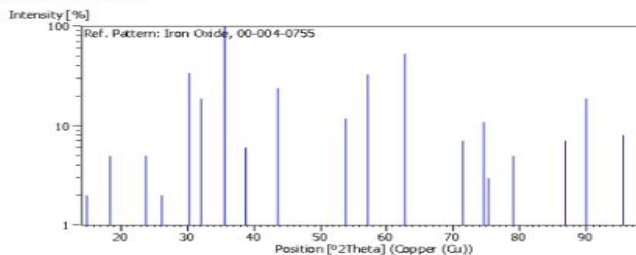
References

Primary reference: Haul and Schoon., *Z. Phys. Chem.*, **44**, 216, (1939)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	0	5.90000	15.004	2.0
2	1	1	1	4.82000	18.392	5.0
3				4.18000	21.239	1.0
4	2	1	0	3.73000	23.836	5.0
5	2	1	1	3.41000	26.111	2.0
6	2	2	0	2.95000	30.273	34.0
7	2	2	1	2.78000	32.173	19.0
8	3	1	0	2.64000	33.929	1.0
9	3	1	1	2.52000	35.598	100.0
10	2	2	2	2.41000	37.261	1.0
11	3	2	0	2.32000	38.784	6.0
12	3	2	1	2.23000	40.416	1.0
13	4	0	0	2.08000	43.473	24.0
14	4	2	0	1.87000	48.652	1.0
15	4	2	2	1.70000	53.688	12.0
16	5	1	1	1.61000	57.168	33.0
17	5	2	0	1.55000	59.599	1.0
18	5	2	1	1.53000	60.459	1.0
19	4	4	0	1.48000	62.728	53.0
20	5	3	0	1.43000	65.186	1.0
21	6	2	0	1.32000	71.403	7.0
22	5	3	3	1.27000	74.679	11.0
23	6	2	2	1.26000	75.374	3.0
24				1.21000	79.079	5.0
25				1.12000	86.907	7.0
26				1.09000	89.934	19.0
27	6	5	0	1.07000	92.094	1.0
28				1.04100	95.456	8.0
29				1.04000	95.578	1.0

30 1.03000 96.811 1.0

Stick Pattern

c. 01-070-6284

Date: 1/3/2017 Time: 11:14:48 AM User: Teknik Material File: Pasir Besi 200

Name and formula

Reference code: 01-070-6284
Compound name: Iron Titanium Oxide
Common name: Ilmenite, syn
Empirical formula: FeO_3Ti
Chemical formula: FeTiO_3

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral
Space group: R-3
Space group number: 148
a (Å): 5.1248
b (Å): 5.1248
c (Å): 14.1826
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000
Volume of cell (10^{-6} nm^3): 322.58
Z: 6.00
RIR: 2.84

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature
Alternate Pattern
Subfiles: Common Phase
Forensic
ICSD Pattern
Inorganic
Mineral
Quality: Star (S)

Comments

Date: 1/3/2017 Time: 11:14:48 AM User: Teknik Material File: Pasir Besi 200 Mesh

ANX: ABX3
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: ABX3
Analysis: Fe1 O3 Ti1
Formula from original source: Fe Ti O3
ICSD Collection Code: 91659
Temperature of Data Collection: 873 K
Wyckoff Sequence: f c2(R3+H)
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++
Structure: Harrison, R.J., Redfern, S.A.T., Smith, R.I., *Am. Mineral.*, **85**, 194, (2000)

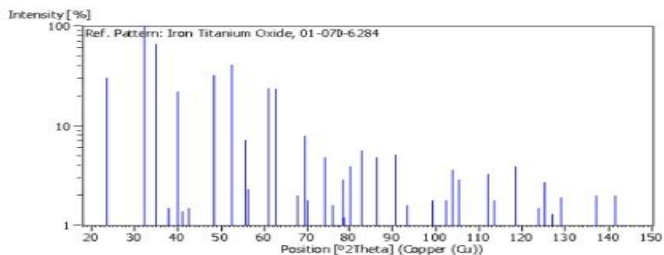
Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta(deg)	I (%)
1	0	0	3	4.72750	18.755	0.2
2	1	0	1	4.23570	20.956	0.3
3	0	1	2	3.76210	23.630	30.6
4	1	0	4	2.77020	32.590	100.0
5	1	1	0	2.56240	34.989	66.8
6	0	1	5	2.39010	37.603	0.2
7	0	0	6	2.36380	38.037	1.5
8	1	1	-3	2.25200	39.989	22.2
9	0	2	1	2.19240	41.140	1.4
10	2	0	2	2.11780	42.658	1.5
11	0	2	4	1.88110	48.346	32.7
12	1	0	7	1.84310	49.409	0.6
13	2	0	5	1.74780	52.300	1.0
14	1	1	-6	1.73740	52.637	41.1
15	1	2	-1	1.66590	55.083	0.6
16	0	1	8	1.64630	55.796	7.2
17	2	1	-2	1.63240	56.313	2.3
18	0	0	9	1.57580	58.528	0.1
19	1	2	-4	1.51640	61.059	24.0
20	0	2	7	1.49620	61.973	0.1
21	3	0	0	1.47940	62.756	23.5
22	2	1	-5	1.44390	64.483	0.4
23	0	3	3	1.41190	66.128	0.1

Date: 1/3/2017Time: 11:14:48 AMUser: Teknik Material						File:
24	2	0	8	1.38510	67.578	2.0
25	1	0	10	1.35100	69.524	7.9
26	1	1	-9	1.34230	70.040	1.8
27	1	2	-7	1.29210	73.191	0.2
28	2	2	0	1.28120	73.917	4.1
29	0	3	6	1.25400	75.798	1.6
30	2	2	-3	1.23660	77.059	0.9
31	1	3	1	1.22630	77.827	0.1
32	2	1	-8	1.21850	78.421	2.9
33	1	3	-2	1.21280	78.861	1.2
34	0	2	10	1.19500	80.272	3.9
35	0	0	12	1.18190	81.347	0.1
36	1	3	4	1.16290	82.966	5.6
37	2	2	-6	1.12640	86.292	4.8
38	2	0	11	1.11480	87.415	0.1
39	4	0	1	1.10620	88.269	0.1
40	0	4	2	1.09620	89.288	0.4
41	1	2	-10	1.08300	90.676	5.1
42	1	1	-12	1.07320	91.740	0.4
43	4	0	4	1.05890	93.347	1.6
44	1	0	13	1.05890	93.347	1.6
45	3	1	-7	1.05200	94.146	0.1
46	0	4	5	1.03330	96.400	0.1
47	2	1	-11	1.02230	97.788	0.1
48	2	3	-1	1.01560	98.659	0.1
49	1	3	-8	1.01110	99.254	1.8
50	3	2	-2	1.00790	99.683	0.1
51	2	2	-9	0.99410	101.587	0.3
52	0	1	14	0.98760	102.516	1.8
53	2	3	-4	0.97860	103.839	3.6
54	4	0	7	0.97320	104.654	0.1
55	1	4	0	0.96850	105.377	2.9
56	3	2	-5	0.95830	106.993	0.1
57	4	1	-3	0.94880	108.558	0.3
58	0	0	15	0.94550	109.116	0.1
59	0	4	8	0.94050	109.976	0.8
60	3	1	-10	0.92960	111.918	3.3
61	0	3	12	0.92340	113.065	0.2
62	2	0	14	0.92160	113.405	1.8
63	1	2	-13	0.91460	114.752	0.1
64	2	3	-7	0.90980	115.703	0.1
65	1	4	-6	0.89620	118.525	3.9
66	1	3	-11	0.89030	119.814	0.1

Date: 1/3/2017Time: 11:14:48 AMUser: Teknik Material						File:
67	1	1	-15	0.88700	120.554	0.2
68	0	5	1	0.88590	120.804	0.1
69	3	2	-8	0.88290	121.493	0.5
70	5	0	2	0.88080	121.983	0.1
71	4	0	10	0.87390	123.636	1.5
72	1	0	16	0.86920	124.803	0.3
73	2	2	-12	0.86870	124.930	0.2
74	2	1	-14	0.86720	125.311	2.7
75	0	5	4	0.86110	126.902	1.3
76	3	3	0	0.85410	128.814	1.9
77	5	0	5	0.84710	130.828	0.1
78	0	4	11	0.84100	132.677	0.1
79	3	3	-3	0.84100	132.677	0.1
80	4	2	-1	0.83730	133.847	0.1
81	2	4	-2	0.83290	135.289	0.2
82	2	3	-10	0.82710	137.285	2.0
83	4	1	-9	0.82510	138.001	0.9
84	0	2	16	0.82320	138.696	0.2
85	0	1	17	0.81990	139.937	0.1
86	4	2	-4	0.81620	141.387	2.0
87	0	5	7	0.81300	142.696	0.1
88	2	4	-5	0.80430	146.562	0.1
89	3	3	-6	0.80330	147.040	0.6
90	3	2	-11	0.79910	149.141	0.1

Stick Pattern



d. 01-073-2361

Name and formula

Reference code:	01-073-2361
Compound name:	Calcium Magnesium Carbonate
Common name:	Dolomite
Empirical formula:	Ca_2MgO_6
Chemical formula:	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Rhombohedral
Space group:	R-3
Space group number:	148
a (Å):	4.8104
b (Å):	4.8104
c (Å):	16.0850
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	321.74
Z:	3.00
RIR:	2.47

Status, subfiles and quality

Status:	Diffraction data collected at non ambient temperature
Subfiles:	Cement and Hydration Product
	Ceramic
	Common Phase
	Forensic
	ICSD Pattern
	Inorganic
	Mineral
	Pigment/Dye
Quality:	Star (S)

Comments

ANK: ABC2X6
 Creation Date: 11/20/2008
 Modification Date: 1/19/2011
 ANK: ABC2X6
 Analysis: C2 Ca1 Mg1 O6
 Formula from original source: Ca Mg (C O3)2
 ICSD Collection Code: 40669
 Calculated Pattern Original Remarks: R(rigid body)=0.022
 Temperature of Data Collection: 473 K
 Wycroff Sequence: f c b a (R3-H)
 Unit Cell Data Source: Single Crystal.

References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++*
 Structure: Reeder, R.J., Markgraf, S.A., *Am. Mineral.*, **71**, 795, (1986)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [a]
1	0	0	3	5.35170	16.551	0.1
2	1	0	1	4.03240	22.026	2.2
3	0	1	2	3.69770	24.048	3.0
4	1	0	4	2.89040	30.913	100.0
5	0	0	6	2.67580	33.462	4.5
6	0	1	5	2.54320	35.262	5.6
7	1	1	0	2.40520	37.358	10.7
8	1	1	-3	2.19380	41.112	26.6
9	0	2	1	2.06560	43.791	4.4
10	2	0	12	2.01620	44.922	14.2
11	0	2	4	1.84880	49.246	4.5
12	0	1	8	1.80800	50.434	16.1
13	1	1	-8	1.78880	51.014	20.0
14	2	0	5	1.74750	52.310	0.2
15	1	2	-1	1.56700	58.888	3.4
16	2	1	-2	1.54510	59.807	7.9
17	1	0	10	1.49810	61.886	0.7
18	1	2	-4	1.46580	63.406	5.6
19	2	0	8	1.44520	64.418	2.2
20	1	1	-9	1.43280	65.043	2.7

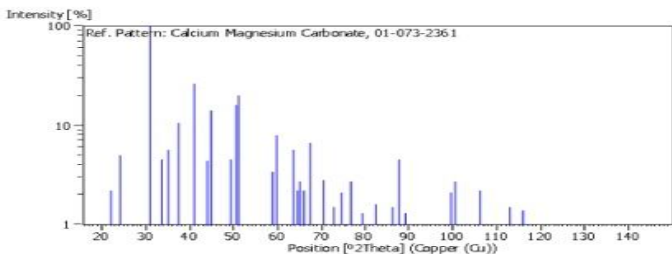
21	2	1	-5	1.41380	66.028	2.2
22	3	0	0	1.38860	67.384	6.6
23	0	1	11	1.37740	68.007	0.1
24	3	0	3	1.34410	69.933	0.2
25	0	0	12	1.33790	70.305	2.8
26	1	2	-7	1.29810	72.798	1.5
27	0	2	10	1.27160	74.569	2.1
28	2	1	-8	1.23880	76.897	2.7
29	0	3	6	1.23260	77.355	0.3
30	2	2	0	1.20260	79.663	1.3
31	2	0	11	1.19530	80.248	0.3
32	1	0	13	1.18410	81.164	0.2
33	2	2	-3	1.17330	82.071	0.2
34	1	1	-12	1.16920	82.421	1.6
35	1	3	1	1.15240	83.892	0.1
36	3	1	2	1.14360	84.687	0.6
37	1	2	-10	1.12420	86.502	1.5
38	3	1	-4	1.11030	87.860	4.5
39	0	1	14	1.10570	88.320	0.3
40	2	2	-6	1.09690	89.216	1.3
41	1	3	-5	1.08720	90.229	0.4
42	2	1	-11	1.07040	92.049	0.3
43	0	2	13	1.06230	92.958	0.1
44	4	0	1	1.03930	95.663	0.1
45	3	1	-7	1.03190	96.574	0.1
46	4	0	4	1.00810	99.656	2.1
47	2	0	14	1.00460	100.130	0.5
48	1	3	-8	1.00130	100.582	2.7
49	2	2	-9	0.99720	101.151	0.1
50	0	4	5	0.99070	102.070	0.1
51	1	3	-15	0.97780	103.944	0.3
52	1	0	16	0.97550	104.305	0.9
53	1	2	-13	0.97180	104.868	0.3
54	3	0	12	0.96350	106.161	2.2
55	2	3	-1	0.95400	107.694	0.5
56	4	0	7	0.94900	108.524	0.9
57	3	2	-2	0.94900	108.524	0.9
58	3	1	-10	0.93780	110.448	0.2
59	2	3	-4	0.92970	111.900	0.8
60	2	1	-14	0.92700	112.395	0.9
61	0	4	8	0.92440	112.878	1.5
62	0	1	17	0.92100	113.518	0.2
63	3	2	-5	0.91600	114.479	0.3

Date: 1/3/2017 Time: 11:42:02 AM User: Teknik Material File: Limestor

64	1	4	0	0.90910	115.843	1.4
65	1	3	-11	0.90590	116.492	0.1
66	0	2	16	0.90400	116.882	0.3
67	4	1	-3	0.89620	118.525	0.1
68	2	2	-12	0.89440	118.914	0.9
69	2	3	-7	0.88220	121.655	0.2
70	4	0	10	0.87370	123.685	0.1
71	3	2	-8	0.86290	126.426	0.6
72	4	1	-6	0.86080	126.982	0.6
73	0	3	15	0.84770	130.651	0.1
74	1	2	-16	0.84620	131.095	0.6
75	3	1	-13	0.84370	131.847	0.2
76	1	1	-18	0.83630	134.169	0.6
77	0	5	1	0.83210	135.557	0.1
78	5	0	2	0.82870	136.723	0.2
79	2	3	-10	0.82120	139.442	0.8
80	0	5	4	0.81580	141.548	0.4
81	1	3	-14	0.81390	142.322	0.3
82	2	1	-17	0.80990	144.018	0.4
83	1	4	9	0.80990	144.018	0.4
84	5	0	5	0.80650	145.537	0.1
85	3	3	0	0.80170	147.822	0.4
86	3	2	-11	0.79960	148.883	0.4
87	2	2	-15	0.79960	148.883	0.4

Stick Pattern

Date: 1/3/2017 Time: 11:42:02 AM User: Teknik Material File: Limestone 200



e. 01-071-4648

Date: 1/9/2017 Time: 9:34:39 AM User: Teknik Material File: ITS_penambahan 2

Name and formula

Reference code: 01-071-4648
Mineral name: Iron
Compound name: Iron
Empirical formula: Fe
Chemical formula: Fe

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Im-3m
Space group number: 229
a (Å): 2.8660
b (Å): 2.8660
c (Å): 2.8660
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10⁻⁶ pm³): 23.54
Z: 2.00
RIR: 10.77

Status, subfiles and quality

Status: Diffraction data collected at non ambient temperature
Subfiles: Alternate Pattern
Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
Forensic
ICSD Pattern
Inorganic
Mineral
Indexed (I)
Quality:

Date: 1/9/2017 Time: 9:34:39 AM User: Teknik Material File: ITS_penambahan 20% User: Teknik Material

Comments

ANK: N
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANK: N
Analysis: FeI
Formula from original source: Fe
ICSD Collection Code: 53802
Calculated Pattern Original Remarks: Stable below 1185 K (4th ref., Tomaszewski), 1185-1667 K: Fm-3m, m.p. 1811 K, Cell at 1073 K: 2.92 (2nd reference). Cell from 3rd reference: 2.9661(2). Temperature of Data Collection: 289 K. Minor Warning: No a.s.d reported/abstracted on the cell dimension, no R factors reported/abstracted. Wycifoff Sequence: a(M3-M). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

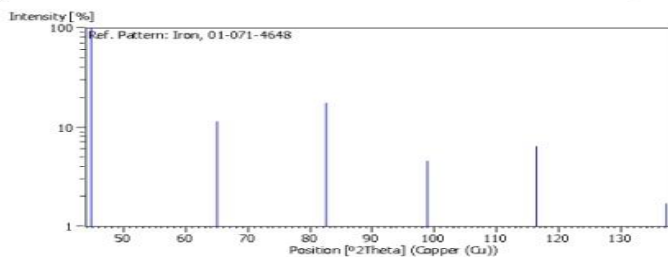
References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++
Structure: Hull, A.W., *Phys. Rev.*, **26**, 60, (1925)

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta (deg)	I (%)
1	1	1	0	2.02460	44.479	100.0
2	2	0	0	1.43300	65.033	11.6
3	2	1	1	1.17000	82.352	17.8
4	2	2	0	1.01330	98.942	4.6
5	3	1	0	0.90630	116.410	6.4
6	2	2	2	0.82730	137.214	1.7

Stick Pattern



f. 00-001-1111

Name and formula

Reference code: 00-001-1111
 Mineral name: Magnetite
 Compound name: Iron Oxide
 Empirical formula: Fe_3O_4
 Chemical formula: Fe_3O_4

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
 Space group: $\text{Fd-}3\text{m}$
 Space group number: 227
 a (Å): 0.3740
 b (Å): 0.3740
 c (Å): 0.3740
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Measured density (g/cm³): 5.18
 Volume of cell (10⁻⁶ cm³): 587.22
 Z: 8.00
 RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Forensic
 Inorganic
 Mineral
 Pigment/Dye
 Quality: Blank (B)

Comments

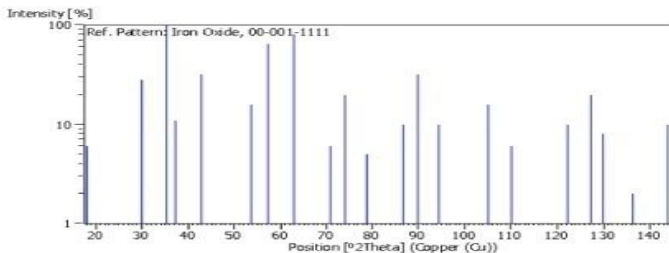
Color: Black
 Creation Date: 1/1/1970
 Modification Date: 1/11/2011
 Color: Black
 Deleted Or Rejected By: Deleted: see Brindley report May-June, 1955. Melting Point: 1863 K.

References

Primary reference: Hanawalt, J., et al., *Anal. Chem.*, **10**, 475, (1938)
 Unit cell: *Dana's System of Mineralogy*, 7th Ed.
 Optical data: *Dana's System of Mineralogy*, 7th Ed.

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	4.85000	18.277	6.0
2	2	2	0	2.97000	30.064	26.0
3	3	1	1	2.53000	35.452	100.0
4	2	2	2	2.42000	37.121	11.0
5	4	0	0	2.10000	43.038	32.0
6	4	2	2	1.71000	53.547	16.0
7	5	1	1	1.61000	57.168	64.0
8	4	4	0	1.48000	62.728	80.0
9	6	2	0	1.33000	70.785	6.0
10	5	3	3	1.28000	73.997	20.0
11	4	4	4	1.21000	79.079	5.0
12	6	4	2	1.12000	86.907	10.0
13	7	3	1	1.09000	89.934	32.0
14	8	0	0	1.05000	94.381	10.0
15	7	5	1	0.97000	105.145	16.0
16	8	4	0	0.94000	110.063	6.0
17	9	3	1	0.88000	122.171	10.0
18	8	4	4	0.86000	127.196	20.0
19				0.85000	129.980	6.0
20				0.83000	136.273	2.0
21	9	5	1	0.81000	143.974	10.0

Stick Pattern

g. 00-002-0880

Date: 1/9/2017 Time: 11:02:51 AM User: Teknik Material File: C

Name and formula

Reference code: 00-002-0880
Mineral name: Ilmenite
Compound name: Iron Titanium Oxide
Empirical formula: FeO_3Ti
Chemical formula: $\text{Fe}_{+2}\text{TiO}_3$

Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral
Space group: R-3
Space group number: 148
a (Å): 5.0800
b (Å): 5.0800
c (Å): 14.0300
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 120.0000
Measured density (g/cm³): 4.72
Volume of cell (10⁻⁶ pm³): 313.56
Z: 2.00
RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
Subfiles: Common Phase
Forensic
Inorganic
Mineral
Quality: Low precision (O)

Comments

Date: 1/9/2017 Time: 11:02:51 AM User: Teknik Material File: 00-002-0880 User: Teknik Material

Color: Iron black
Creation Date: 1/1/2010
Modification Date: 1/11/2011
Color: Iron black
Deleted Or Rejected By: Delete: see Brindley comments January 27, 1955. Sample Source or Locality: Specimen from Egersund, Norway. Unit Cell: Rhombohedral cell: a=5.52, c=14.03.

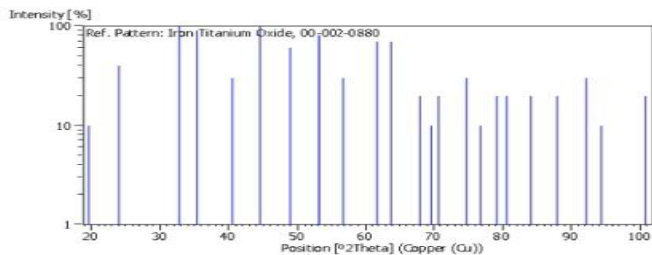
References

Primary reference: Poonjaki, Barth., Z. Kristallog., Kristallphys., Kristallchem., **88**, 269, (1934)
Unit cell: Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.

Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta(deg)	I (%)
1	0	0	3	4.50000	19.713	10.0
2	0	1	2	3.70000	24.033	40.0
3	1	0	4	2.71000	32.778	100.0
4	1	1	0	2.51000	35.452	90.0
5	1	1	3	2.23000	40.416	30.0
6				2.03000	44.600	100.0
7	0	2	4	1.86000	48.930	60.0
8	1	1	6	1.72000	53.212	80.0
9	1	2	2	1.62000	56.783	30.0
10	2	1	4	1.50000	61.799	70.0
11	3	0	0	1.46000	63.687	70.0
12	2	0	8	1.38000	67.861	20.0
13	1	0	10	1.33000	69.583	10.0
14	1	1	9	1.31000	70.785	10.0
15	2	2	0	1.27000	74.679	30.0
16	3	0	6	1.24000	76.809	10.0
17	1	2	8	1.21000	78.079	10.0
18	0	2	10	1.19000	80.678	20.0
19	1	3	4	1.15000	84.107	20.0
20	2	2	6	1.11000	87.869	20.0
21	3	0	9	1.07000	92.094	30.0
22	4	0	4	1.05000	94.361	10.0
23	2	3	2	1.00000	100.762	20.0

Stick Pattern



h. 00-002-0406

Name and formula

Reference code: 00-002-0406
 Mineral name: Anatase
 Compound name: Titanium Oxide
 Empirical formula: O_2Ti
 Chemical formula: TiO_2

Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal
 Space group: $I4_1/amd$
 Space group number: 141
 a (Å): 3.7760
 b (Å): 3.7760
 c (Å): 9.4660
 Alpha (°): 90.0000
 Beta (°): 90.0000
 Gamma (°): 90.0000
 Measured density (g/cm^3): 3.90
 Volume of cell (10^{-6} pm^3): 135.25
 Z: 4.00

RIR: -

Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD
 Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
 Common Phase
 Excipient
 Forensic
 Inorganic
 Mineral
 Pharmaceutical
 Pigment/Dye

Date: 1/9/2017 Time: 2:24:15 PM User: Teknik Material

File: ITS_penambah

Quality:

Low precision (O)

Comments

Color: Brown, blue
 Creation Date: 1/1/1970
 Modification Date: 1/11/2011
 Color: Brown, blue
 Deleted Or Rejected By: Deleted by NBS card 00-004-0551
 General Comments: Transforms to I form (Rutile) at 642 C.

References

Primary reference: Weiser, Milligan., *J. Phys. Chem.*, **38**, 517, (1934)
 Unit cell: *The Structure of Crystals, 1st Ed.*
 Optical data: *Data on Chem. for Cer. Use, Natl. Res. Council Bull. 107*

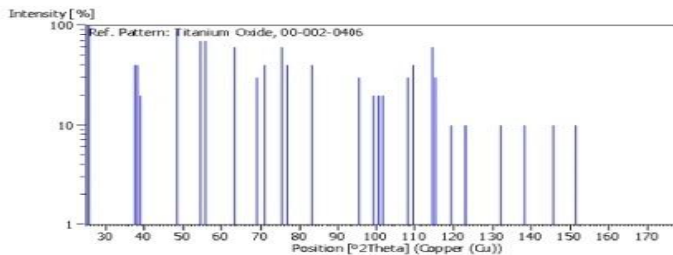
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	1	3.47000	25.652	100.0
2	0	0	4	2.39000	37.604	40.0
3				2.35000	38.269	40.0
4	1	1	2	2.31000	38.958	20.0
5	2	0	0	1.88000	48.376	90.0
6	1	0	5	1.69000	54.233	70.0
7	2	1	1	1.65000	55.660	70.0
8	2	0	4	1.47000	63.204	60.0
9	1	1	6	1.36000	68.999	30.0
10	2	2	0	1.33000	70.785	40.0
11	2	1	5	1.26000	75.374	60.0
12				1.24000	76.809	40.0
13	3	1	2	1.16000	83.219	40.0
14	3	2	1	1.04000	95.578	30.0
15				1.01000	99.401	20.0
16				1.00000	100.762	20.0
17	3	2	3	0.99200	101.885	20.0
18	3	1	6	0.95100	108.190	30.0
19	4	0	0	0.94300	109.544	40.0
20	3	2	5	0.91600	114.479	60.0
21	4	1	1	0.91200	115.264	30.0
22	1	1	10	0.89200	119.438	10.0
23	4	0	4	0.87600	123.125	10.0

Date: 1/9/2017 Time: 2:24:15 PM User: Teknik Material

File: ITS_penambah

24	4	2	0	0.84300	132.061	10.0
25	4	1	5	0.82400	138.401	10.0
26				0.80600	145.767	10.0
27	4	2	4	0.79500	151.361	10.0
28				0.74000		10.0
29				0.70200		10.0
30				0.66600		10.0

Stick Pattern

i. 00-015-0026

Date: 1/9/2017 Time: 2:55:32 PM User: Teknik Material	
Name and formula	
Reference code:	00-015-0026
Mineral name:	Stishovite
Compound name:	Silicon Oxide
Empirical formula:	O ₂ Si
Chemical formula:	SiO ₂
Crystallographic parameters	
Crystal system:	Tetragonal
Space group:	P4 ₂ /mnm
Space group number:	136
a (Å):	4.1790
b (Å):	4.1790
c (Å):	2.6649
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm ³):	4.28
Measured density (g/cm ³):	4.35
Volume of cell (10 ⁻⁶ pm ³):	46.54
Z:	2.00
RIR:	-
Status, subfiles and quality	
Status:	Alternate Pattern
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Excipient Forensic Inorganic Mineral Pharmaceutical Indexed (I)
Quality:	

Date: 1/9/2017 Time: 2:55:32 PM User: Teknik Material

File: ITS_Batik kelapa

User: Teknik Material

Comments

Color: Colorless
 Creation Date: 1/1/2070
 Modification Date: 1/1/2011
 Additional Patterns: See PDF 00-045-1374
 Color: Colorless
 Footnotes for D-spacings and intensities: 1 Observed only on synthetic material. 2 Not observed on synthetic material
 General Comments: Formed synthetically at 1200-1400 C. ~160 kilobars Stishov, Popova, Geokhimiya, 10 837-839 (1961). Converts to cristobalite in air at 900 C. at below 0.9475
 Sample Source or Locality: Found in sandstone in Meteor Crater, Arizona, USA
 Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

Primary reference: Chao et al., *J. Geophys. Res.*, **67**, 419, (1962)

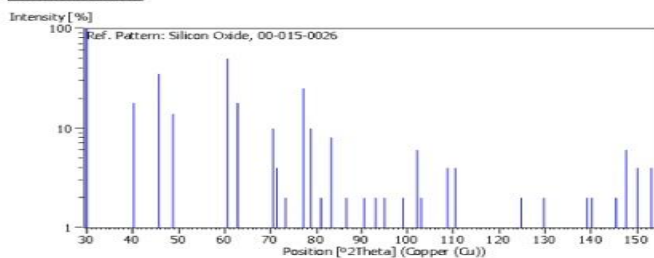
Peak list

No.	h	k	l	d (Å)	2Theta(deg)	I (%)
1	1	1	0	2.99300	30.179	100.0
2	1	0	1	2.24600	40.115	18.0
3	2	0	0	2.09000	43.254	1.0
4	1	1	1	1.98100	45.745	35.0
5	2	1	0	1.87000	48.652	14.0
6	2	1	1	1.83000	50.459	50.0
7	2	2	0	1.47800	62.823	18.0
8	0	0	2	1.33300	70.602	10.0
9	3	1	0	1.32200	71.278	4.0
10	2	2	1	1.29100	73.263	2.0
11	3	0	1	1.23500	77.177	25.0
12	1	1	2	1.21500	78.690	10.0
13	3	1	1	1.18500	81.090	2.0
14	3	2	0	1.15900	83.307	8.0
15	2	0	2	1.12300	86.618	2.0
16	2	1	2	1.08400	90.569	2.0
17	3	2	1	1.06200	92.593	2.0
18	4	0	0	1.04500	94.975	2.0
19	4	1	0	1.01300	99.002	2.0
20	2	2	2	0.99000	102.170	4.0
21	3	3	0	0.98500	102.894	2.0
22	4	1	1	0.94750	108.777	4.0

Date: 1/9/2017 Time: 2:55:32 PM User: Teknik Material File: ITS_Batuk kelap

23	3	1	2	0.93820	110.378	4.0
24	4	2	1	0.88240	121.609	1.0
25	1	0	3	0.86910	124.629	2.0
26	1	1	3	0.85060	129.607	2.0
27	4	0	2	0.82200	139.142	2.0
28	5	1	0	0.81940	140.129	2.0
29	4	1	2	0.80650	145.537	2.0
30	2	1	3	0.80230	147.527	6.0
31	4	3	1	0.79750	149.986	4.0
32	3	3	2	0.79200	153.114	4.0

Stick Pattern



j. 00-001-1234

Date: 1/9/2017 Time: 2:55:49 PM User: Teknik Material

File: ITS_

Name and formula

Reference code:	00-001-1243
Compound name:	Aluminum Oxide
Empirical formula:	Al ₂ O ₃
Chemical formula:	Al ₂ O ₃

Crystallographic parameters

Crystal system:	Rhombohedral
Space group:	R-3c
Space group number:	167
a (Å):	4.7500
b (Å):	4.7500
c (Å):	12.9700
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000

Measured density (g/cm ³):	4.02
Volume of cell (10 ⁻⁶ cm ³):	253.43
Z:	6.00

RIR:

Status, subfiles and quality

Status:	Marked as deleted by ICDD
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Cement and Hydration Product Common Phase Forensic Inorganic Mineral Superconducting Material
Quality:	Blank (B)

Comments

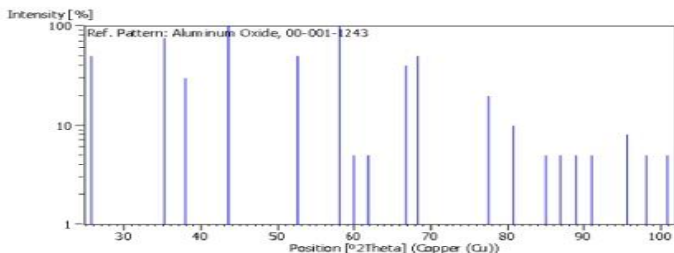
Color: Various
 Creation Date: 1/1/1970
 Modification Date: 1/11/2011
 Color: Various
 Deleted Or Rejected By: Deleted by NBS
 Melting Point: 2323 K
 Unit Cell: Rhombohedral cell: $a=5.120$, $a=55.28^\circ$.

References

Primary reference: Hanawalt, J., et al., *Anal. Chem.*, **10**, 475, (1938).
 Unit cell: *Dana's System of Mineralogy*, 7th Ed.

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.47000	25.652	50.0
2	1	0	4	2.55000	35.165	75.0
3	1	1	0	2.37000	37.934	30.0
4	1	1	3	2.08000	43.473	100.0
5	0	2	4	1.74000	52.553	50.0
6	1	1	6	1.59000	57.955	100.0
7	2	1	1	1.54000	60.026	5.0
8	0	1	8	1.50000	61.799	5.0
9	2	1	4	1.40000	66.763	40.0
10	3	0	0	1.37000	68.425	50.0
11	1	1	9	1.23000	77.549	20.0
12	2	1	7	1.19000	80.678	10.0
13	1	3	1	1.14000	85.017	5.0
14	1	2	8	1.12000	86.907	5.0
15	0	2	10	1.10000	88.898	5.0
16	0	0	12	1.08000	90.998	5.0
17	2	2	6	1.04000	95.578	8.0
18	0	4	2	1.02000	98.085	5.0
19	2	1	10	1.00000	100.762	5.0

Stick Pattern

4. Hasil Uji EDX

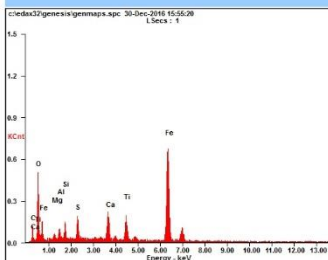
a. Komposisi Awal

Microanalysis Report

Prepared for: Company Name Here

Prepared by: Your Name Here

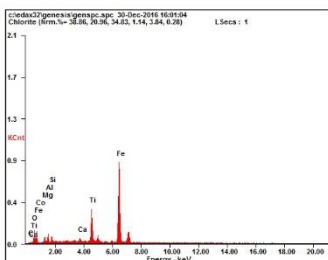
12/30/2016



KV:20.00 TILT:0.00 TAKE-OFF:32.49 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE
SDD APOLLO X RESOLUTION :127.89

Element	Wt%	At%
CK	05.22	13.40
OK	20.12	38.80
MgK	01.29	01.64
AlK	01.82	02.08
SiK	02.63	02.89
SK	03.26	03.14
CaK	05.44	04.19
TiK	06.45	04.16
FeK	53.77	29.71

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



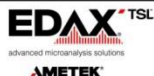
KV:20.00 TILT:0.00 TAKE-OFF:32.49 AMPT:6.4 DETECTOR TYPE
SDD APOLLO X RESOLUTION :127.89

Element	Wt %	At %
C K	01.01	03.57
O K	06.51	17.25
Co L	02.54	01.83
Mg K	03.22	05.61
Al K	03.09	04.87
Si K	01.89	02.86
Ca K	01.09	01.15
Ti K	12.52	11.09
Fe K	68.14	51.77

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

b. Komposisi Penambahan 10%

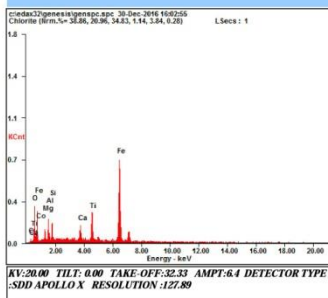
Microanalysis Report



Prepared for: Company Name Here

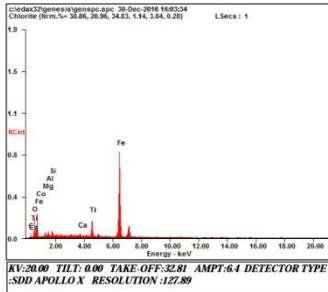
Prepared by: Your Name Here

12/30/2016



Element	Wt %	At %
C K	01.54	04.59
O K	12.84	28.83
Co L	04.27	02.60
Mg K	04.51	06.66
Al K	04.82	06.41
Si K	04.31	05.52
Ca K	03.15	02.82
Ti K	09.76	07.32
Fe K	54.80	35.25

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	02.27	07.82
O K	07.51	19.42
Co L	05.43	03.81
Mg K	02.27	03.86
Al K	02.09	03.21
Si K	01.67	02.45
Ca K	00.78	00.80
Ti K	06.92	05.98
Fe K	71.06	52.64

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

c. Komposisi Penambahan 20%

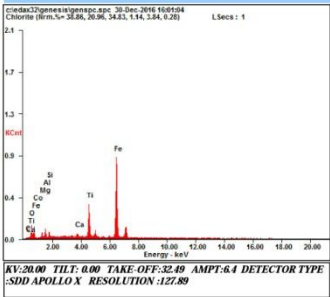
Microanalysis Report



Prepared for: Company Name Here

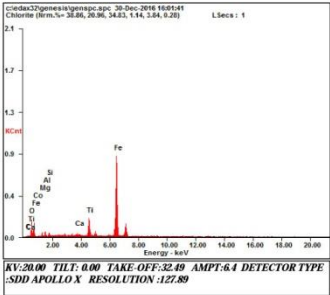
Prepared by: Your Name Here

12/30/2016



Element	Wt %	At %
C K	01.01	03.57
O K	06.51	17.25
Co L	02.54	01.83
Mg K	03.22	05.61
Al K	03.09	04.87
Si K	01.89	02.86
Ca K	01.09	01.15
Ti K	12.52	11.09
Fe K	68.14	51.77

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT



Element	Wt %	At %
C K	00.99	03.59
O K	07.02	19.09
Co L	04.55	03.36
Mg K	02.11	03.77
Al K	02.02	03.25
Si K	00.98	01.51
Ca K	00.94	01.02
Ti K	07.80	07.08
Fe K	73.60	57.33

EDAX ZAF QUANTIFICATION STANDARDLESS SEC
TABLE : DEFAULT

5. Hasil Pengujian *Proximate Analysis* Arang

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Hairul Wasik

Alamat Pemilik : T.Material ITS

Nama Contoh : Arang Kayu

Tanggal Terima : 28 Okt 2016

Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas

Tanggal Pengujian : 01 Nop 2016

Contoh : Volume : -
Kemasan : Plastik

Tanggal Selesai
Pengujian : 03 Nop 2016

Kode Contoh : EN-0043

Jumlah Contoh : 3

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi – LPPM ITS.

Hasil Pengujian

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Arang Kayu Asem	Moisture in sample	6,04	%adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	3,30		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	20,20		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	70,46	%ar	ASTM D 3172-13
		Total Moisture	7,63		ASTM D 3302-15
2	Arang Kayu Alaban	Moisture in sample	6,58	%adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	2,42		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	25,14		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	65,86	%ar	ASTM D 3172-13
		Total Moisture	7,37		ASTM D 3302-15
3	Arang Batok Kelapa	Moisture in sample	4,10	%adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	14,18		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	18,76		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	62,96	%ar	ASTM D 3172-13
		Total Moisture	4,93		ASTM D 3302-15

Suhu : 21,1 °C

Humidity : 49 %

Analisis : MBB

Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan sebagian, tetapi harus digandakan secara keseluruhan
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Mengetahui,
Manajer Teknis



Denvy Puspasari, ST

NIP. 914010012

FR/LE-ITS/5.10-01 Laporan Hasil Pengujian

Halaman 2 dari 2

6. Hasil Pengujian XRF Batu kapur

Date: October 2014

PT. ASIA RESOURCES SEJAHTERA

Testing Office
Sum 610, 6/9, Plaza BRI
Jl. Banko Rahmat No. 122, Jemberaya 60271

REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : MATERIAL & METALLURGICAL ITS

THE FOLLOWING SAMPLE (S) WAS/WERE SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS:

TYPE OF SAMPLE : BATU KAPUR

DATE OF RECEIVED : Oktober 16, 2014

DATE OF ANALYSIS : October 17, 2014

DESCRIPTION SAMPLE : FORM : powder
Weight / Volume : < 1 kg
Packing : unsealed plastic bag

SAMPLE IDENTIFICATION : Codes : Inertecor #1

(STATED BY CLIENT)

We have tested the sample (s) submitted and the following results were obtained:

No.	Parameter	Unit	Test Result	Test Method
1.	Calcium (Ca)	% wt	18,982	X - Ray Fluorescence
2.	Magnesium (Mg)	% wt	13,742	X - Ray Fluorescence
3.	Silicon (Si)	% wt	0,546	X - Ray Fluorescence
4.	Iron (Fe)	% wt	0,072	X - Ray Fluorescence
5.	Sulfur (S)	% wt	0,041	X - Ray Fluorescence
6.	Aluminium (Al)	% wt	0,004	X - Ray Fluorescence
7.	Zincum (Zn)	% wt	0,0007	X - Ray Fluorescence

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.asiaresources.co.id

Mineral Analyst: Ash
Asst. Manager

7. Hasil Pengujian Derajat Metalisasi

Tabel 6. Hasil Pengujian Derajat Metalisasi Sampel
Sponge Iron

Nomor Sampel	Kadar Fe (%)	Berat sampel (g)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (ml)	Fe Metal (g)	Fe Total (g)	Metalisasi (%)
1	60.95	1	175	0.3255	0.6095	53.40
2	71.06	1	312	0.5809	0.7106	81.75
3	73.60	1	350	0,496223	0.7360	88.55



Annisa Riyanti, lahir di Bandung pada tanggal 6 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari Bapak Agus Trianto Elliezer dan Ibu Farida Kustiarini dan memiliki satu orang saudara perempuan bernama Ananda Savira. Hobi penulis adalah *traveling* dan *shopping*. Riwayat pendidikan dimulai dari TK Aisiyan 22 Jakarta Pusat, kemudian melanjutkan ke SDN Percontohan Johar

Baru 01 Pagi Jakarta Pusat, SMP Negeri 1 Cimahi, SMA Negeri 5 Bekasi, dan menempuh pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan mengambil Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri. Disaat menempuh bangku perkuliahan, penulis sudah mengikuti beberapa pelatihan, seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra-Tingkat Dasaratau LKMM Pra-TD, Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Tingkat Dasaratau LKMM TD, dan Pelatihan Manajemen Organisasi atau PMO. Selain itu, penulis juga menjadi Staff Unit Kerja Khusus di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) 2014/2015 pada tahun kedua, dan menjadi Bendahara Umum HMMT 2015/2016 pada tahun ketiga. Penulis juga sempat menjadi finalis 10 besar perlombaan Metalloscope pada tahun keempat. Penulis juga merupakan Grader Metalurgi dan anggota Laboratorium Teknologi Pengolahan Material. Penulis sempat melakukan kerja praktik di PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. di bagian *Hot Strip Mill Plant*.

Email : annisariyanti@hotmail.com
+62 85693252109